

# **AALTO-YLIOPISTO**

Insinööritieteiden korkeakoulu

Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan koulutusohjelma

Rakennetekniikka

**Heini Kovanen**

## **Mitoitusohjelman rakenne ja käyttöliittymä puurakenteiden liitoksille**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten

Espoossa 2. lokakuuta 2014

Valvoja: Professori Jari Puttonen, Aalto-yliopisto

Ohjaajat: DI Katariina Kevarinmäki, Metsä Wood

TkT Ari Kevarinmäki, VTT

---

**Tekijä** Heini Kovanen

---

**Työn nimi** Mitoitusohjelman rakenne ja käyttöliittymä puurakenteiden liitoksille

---

**Laitos** Rakennustekniikan laitos

---

**Professori** Talonrakennustekniikka

---

**Professuurikoodi** Rak-43

---

**Työn valvoja** Professori Jari Puttonen

---

**Työn ohjaaja(t)/Työn tarkastaja(t)** DI Katariina Kevarinmäki, TkT Ari Kevarinmäki

---

**Päivämäärä** 02.10.2014

---

**Sivumäärä** 114 + 82

---

**Kieli** Suomi

---

### **Tiivistelmä**

Diplomityössä määriteltiin rakenne ja käyttöliittymä uudelle puurakenteiden liitosten mitoitusohjelmalle, joka kattaa Kerto-rakenteiden yleisimmät liitostyypit. Liitosten mitoituksen perusteeksi määritettiin eurokoodistandardien liitosmitoitushjeet.

Liitosmitoitushjelman sisältö määritettiin Kerto-tuotteilla toteutettavien liitostyyppien kartoituksessa tunnistettujen 27 liitostyyppin ja niiden käytön yleisyyden perusteella. Ohjelman liitostyypeiksi valikoitui standardiliittimillä toteuttavia palkkien ja pilarien liitoksia, ripustusliitoksia sekä Kerto-Ripa-elementtien liitoksia. Tässä työssä on keskitytty erityisesti puuosien välisen leikkausliitoksen mitoitukseen ja ohjelmoitavuuteen.

Puikkoliitosten mitoitusohjeiden perusteella määritettiin ohjelman kehityksessä tarvittavat tiedot liitosten osien dimensioista ja lujuusominaisuuksista, liittintyyppien erityisominaisuuksista, liitoksen rakenteelle asetetuista rajoituksista sekä liitoksen rakenteen vaikutuksesta liitoksen kestävyys. Näitä tietoja käytettiin mitoitusohjelman rakenteen ja käyttöliittymän erilaisten toimintojen suunnittelun pohjana.

Työssä tutkittiin myös erityisesti liittinsijoittelun vaikutusta liitoksen kestävyys ja tämän optimointia. Liittinsijoittelun havaittiin vaikuttavan liitoksen kestävyys tehollisten liittimien määrän, halkeamis- ja lohkeamismurtokestävyyksien sekä liitoksen jäyhyysmomentin kautta. Kaikilla tekijöillä tehokkaimmaksi osoittautui liittinten sijoittelu mahdollisimman laajalle alueelle.

Ohjelman rakenne suunniteltiin liitostyyppikartoituksen tulosten perusteella. Ohjelmaan toteutettiin kaksitasoinen valikkorakenne, jossa kahdeksaan liitosryhmään sijoitettiin kuhunkin korkeintaan viisi liitostyyppiä, jotta oikean liitostyyppin löytäminen olisi mahdollisimman helppoa ja nopeaa. Käytettävyyden parantamiseksi päädyttiin liitosryhmissä käyttämään liitosten käyttötarkoituksen mukaista jaottelua mitoitusperusteisiin perustuvan ryhmittelyn sijaan.

Saatavilla olevien puurakenteiden liitosmitoitushjelmien analyysin perusteella käyttöliittymäsuunnittelussa keskityttiin mitoitusprosessin loogiseen jäsentelyyn ja tarvittavien mitoitusparametrien sijoitteluun ohjelman mitoitusvälilehdille, liitoksen havainnolliseen esitykseen, tuloksien ja tulosteiden selkeyteen sekä ohjelman monipuolisuuteen. Mitoitusprosessi jaettiin kolmeen erilliseen ikkunaan, jotka mahdollistavat liitoksen määrittelyn, liitoksen rakenteen tarkastelun ja tärkeimpien mitoistulosten yhteenvedon tarkastelun samanaikaisesti.

---

**Avainsanat** Puuliitos, mitoitusohjelma, käyttöliittymä, optimointi

---

---

**Author** Heini Kovanen

---

**Title of thesis** The Structure and User interface of a Design Software for Timber Connections

---

**Department** Department of Civil and Structural Engineering

---

**Professorship** Structural Engineering**Code of professorship** Rak-43

---

**Thesis supervisor** Professor Jari Puttonen

---

**Thesis advisor(s) / Thesis examiner(s)** M.Sc. Katariina Kevarinmäki, D.Sc. Ari Kevarinmäki

---

**Date** 02.10.2014**Number of pages** 114 + 82**Language** Finnish

---

**Abstract**

This thesis defined the structure and user interface of a timber connection design software for the most common connection types of Kerto products. The connection design methods of Eurocode standards were used as the basis of the connection design.

The content of the connection design software was based on a survey of 27 different Kerto connections types and their usage rates. The selected connection types for the software included connections of columns and beams, as well as suspension connections made with standard connectors and connections of Kerto-Ripa elements. This thesis focused especially on the design and programmability of a shear connection between timber members.

An analysis of dowel connection design methods was used to define the necessary information regarding the dimensions and strength properties of the connection members, the features of different connector types, the restrictions imposed on the structures of connections, as well as the effect of the connection structure on the capacity of a connection. The analysis was used as a design basis for the different functionalities of the software.

Research on the effect of connector placement and its optimization showed that connector placement affects the capacity of a connection through the number of effective connectors, the splitting capacity, the block and plug shear capacities, as well as the moment of inertia. All factors led to the largest capacity of the connection when the connectors were placed as far apart as possible.

The structure of the software was designed based on the results of the connection type survey. The connection type menu of the software was designed to have two levels, with the first level including eight different connection groups; these groups each include a maximum of five different connection types, thus facilitating the finding of the correct connection type. The grouping of the connection types was based on classification by application rather than classification by the design methods used, as the former was thought to be a more user friendly approach.

Based on an analysis of different available timber connection design software, the user interface design was focused on creating a logical design process and division of the different connection design parameters on tabs in the software. Attention was also given to the graphical presentation of the connection, the results and printouts, as well as the diversity of the software. The design process was divided into three separate windows, which allow the user to define the connection while reviewing the structure and design results of the connection.

---

**Keywords** Timber connection, design software, user interface, optimization

---

## Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty Aalto-yliopiston Insinööritieteiden korkeakoulun Rakennustekniikan laitokselle. Aihe syntyi Metsä Woodin tarpeesta laajentaa puurakenteiden mitoitusohjelmistovalikoimaansa myös liitosten mitoitukseen.

Kiitän Metsä Woodia ja Rakennustekniikan laitosta työn mahdollistamisesta ja mielenkiintoisen, haastavan ja sopivan aiheen löytymisestä. Erityiset kiitokset haluan osoittaa diplomityötäni ohjanneille DI Katariina Kevarinmäelle ja TkT Ari Kevarinmäelle sekä työtäni valvoneelle professori Jari Puttoselle. Lisäksi kiitän Metsä Woodin DI Jouni Hakkarasta mielenkiintoisesta aihe-ehdotuksesta ja arvokkaasta palautteesta, D.O.F. tech Oy:n DI Marko Saikkosta ohjelmointityöstä ja siihen liittyvistä neuvoista, Rakennustekniikan laitoksen DI Hannu Hirttä, joka on osaltaan vahvistanut kiinnostustani puurakentamista kohtaan sekä kaikkia liitostyyppikartoitukseen ja ohjelman testaukseen osallistuneita henkilöitä.

Ilman puolisoni Ollin kannustusta ja tukea tämä työ tai opintoni tuskin olisivat koskaan valmistuneet. Haluan kiittää vanhempiani ja veljeäni kaikesta siitä tuesta, jota olen heiltä vuosien varrella myös opintoihini saanut. Lisäksi haluan kiittää ystäviäni, opiskelukavereitani ja työtovereitani kaikesta kannustuksesta ja avusta, jota olen diplomityöprojektin aikana saanut.

Espoossa 26.9.2014

Heini Kovanen

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	2
Abstract .....	3
Alkusanat .....	4
1 Johdanto .....	8
1.1 Tutkimuksen tausta .....	8
1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset.....	8
1.3 Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen rakenne.....	9
2 Kerto-tuotteilla tehtyjen puikkoliitosten kartoitus .....	11
2.1 Kyselytutkimus liitostyyppien kartoittamiseksi.....	11
2.2 Kerto-tuotteiden yleisimmät liitosten käyttötavat ja liitostyypit.....	12
2.3 Liitostyyppien valinta mitoitusohjelmaan.....	14
2.3.1 Pilarien ja palkkien väliset liitokset .....	16
2.3.2 Palkkien väliset liitokset .....	17
2.3.3 Perustusliitokset .....	18
2.3.4 Kerto-Ripa-elementtien liitokset.....	18
2.3.5 Ripustusliitokset.....	18
2.3.6 Jäykistys- ja suojalevyjen liitokset.....	19
2.3.7 Vahvistusliitokset .....	19
2.3.8 Kerto-Maxi-palkin liitokset.....	19
3 Puurakenteiden puikkoliitokset ja puikkoliitosten mitoitus.....	20
3.1 Puurakenteiden yleinen puikkoliitosteoria.....	20
3.2 Puun käyttäytyminen puikkoliitoksessa .....	20
3.2.1 Syy rakenne.....	20
3.2.2 Kosteusmuodonmuutokset .....	21
3.3 Puikkoliittimet.....	21
3.3.1 Naulat .....	21
3.3.2 Ruuvit.....	22
3.3.3 Pultit .....	23
3.3.4 Tappivaarnat .....	24
3.3.5 Materiaali .....	24
3.3.6 Esiporaus .....	24
3.4 Levyt .....	25
3.5 Liitinryhmät .....	25
3.5.1 Liitinten sijoittelu .....	25
3.5.2 Liitinten tehollinen määrä .....	25

3.5.3 Liitinryhmän jäyhyysmomentti .....	25
3.6 Puikkoliitosten murtotavat .....	26
3.6.1 Reunapuristuskestävyys ja puuosan murtuminen .....	26
3.6.2 Liittimen myötääminen tai murtuminen .....	28
3.6.3 Murtotapojen sitkeys .....	29
3.7 Puikkoliitosten mitoitusperiaatteet .....	30
3.7.1 Osavarmuuslukumenetelmä .....	30
3.7.2 Rajatilamitoitus .....	30
3.7.3 Leikkausrasitetut liittimet .....	31
3.7.4 Vetorasitetut liittimet .....	31
3.7.5 Leikkaus- ja vetorasitetut liittimet .....	32
3.7.6 Liitoksen halkeamiskestävyys .....	32
3.7.7 Liitoksen lohkeamismurtokestävyys .....	33
3.7.8 Liitossiirtymä .....	34
3.7.9 Liitoksen kiertymäjäykkyys .....	34
3.8 Maakohtaisten ohjeiden vaikutus laskentaan .....	35
4 Tehokkaimman liitossijoittelun määrittäminen puikkoliitoksissa .....	36
4.1 Liitinsijoittelun vaikutus liitoksen kestävyYTEEN .....	36
4.1.1 Tehollisten liitinten määrä .....	36
4.1.2 Halkeamiskestävyys .....	39
4.1.3 Lohkeamiskestävyys .....	40
4.1.4 Liitinryhmän jäyhyysmomentti .....	42
4.2 Tehokkaimman liitinsijoittelun hakeminen algoritmisesti .....	44
4.2.1 Lähtötiedot .....	44
4.2.2 Hakualgoritmit .....	44
4.3 Optimoinnin muut vaihtoehdot .....	46
5 Puurakenteiden liitosten mitoitukseen käytettävien ohjelmien kartoitus .....	48
5.1 Würth-mitoitusohjelmat .....	48
5.2 SFS Timber Work Software EC5 .....	50
5.3 DOFNAULA .....	52
5.4 WOODexpress .....	53
5.5 SømDIM .....	55
5.6 RSTAB 8.xx .....	56
5.7 Yhteenveto liitosmitoitusohjelmien ominaisuuksista .....	59
5.8 Kehitysideat mitoitusohjelmakartoituksen pohjalta .....	62
5.8.1 Mitoitusprosessi .....	62
5.8.2 Liitoksen esitystapa .....	62

5.8.3 Liitoksen muokkaus .....	62
5.8.4 Liitinten valinta .....	62
5.8.5 Tulokset ja tulosteet .....	63
6 Liitosmitoitushjelman kehittäminen Kerto-tuotteille .....	64
6.1 Ohjelmistokehitysprosessi .....	64
6.1.1 Ohjelmistokehitysprojektin suunnittelu .....	64
6.2 Ohjelmistokehitysprosessimallit .....	65
6.2.1 Liitosmitoitushjelman kehitysprosessi .....	67
6.3 Ohjelman rakenne .....	72
6.4 Ohjelman sisällön määrittäminen .....	74
6.4.1 Liitinryhmät .....	74
6.4.2 Liitostyypit .....	74
6.4.3 Tulokset .....	79
6.4.4 Huomautukset .....	79
6.5 Käyttöliittymäsuunnittelu .....	80
6.5.1 Valikkorakenteet ja ikkunointi .....	80
6.5.2 Liitinvalikoima ja liitinparametrien syöttö .....	82
6.5.3 Kuormat .....	82
6.6 Ohjelman toiminnan kuvaus .....	83
6.7 Testaus .....	93
6.7.1 Testaussuunnitelma .....	93
6.7.2 Laskentatulosten analysointi .....	97
6.7.3 Käyttöliittymän arviointi .....	97
6.7.4 Testauksen tulokset .....	97
6.8 Ohjeet ohjelman maaversioiden tekemiseen .....	101
7 Johtopäätökset .....	104
7.1 Liitostyyppien kartoitus .....	104
7.2 Liitosmitoitus .....	104
7.3 Liitosten optimointi .....	105
7.4 Puuliitosten mitoitushjelmien kartoitus .....	105
7.5 Ohjelman rakenteen määrittely .....	105
7.6 Käyttöliittymän määrittely .....	106
7.7 Testaus .....	107
7.8 Jatkotutkimustarpeet .....	108
8 Yhteenveto .....	109
Kirjallisuusviitteet .....	112
Liitteet .....	114

# 1 Johdanto

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Puurakenteiden liitoksia voidaan toteuttaa useilla eri menetelmillä. Liitostyypit voidaan jakaa erilaisin metalliliittimin tehtyihin liitoksiin ja kosketusliitoksiin. Metalliliittimin tehdyt liitokset voivat olla metallisin puikkoliittimin koottuja liitoksia tai erilaisilla muotolevyillä toteutettuja liitoksia. Kosketusliitoksissa puurakenteiden kuormat siirtyvät puuosien välisessä kontaktissa tai kitkalla.

Metallisilla puikkoliittimillä tehtyjen puuliitosten mitoitus perustuu puikkoliitosteoriaan. Mekaanisten puikkoliitosten mitoitus on käsin tehtynä työlästä, sisältää tulkinnanvaraisuuksia ja käytettävät menetelmät vaihtelevat jonkin verran liitoksen osien dimensioiden ja materiaalien muuttuessa.

Kertopuu® tai Kerto® on Metsä Woodin havupuuviiluista liimaamalla valmistettu palkki- tai puulevytuote, jonka käyttökohteita ovat esimerkiksi teollinen rakentaminen (teollisuushallit, logistiikkakeskukset), monikerrosrakentaminen (asuinkerros- ja toimistotalot) ja pientalorakentaminen. Euroopassa Kerto-tuotteet mitoitetaan Eurokoodi 5 -standardin ja VTT-sertifikaatin Nro VTT-C-184-03 ohjeiden mukaisesti.

Diplomityöllä Metsä Wood kehittää Kerto-tuotteidensa myynnin tueksi liitosmitoitushjelman, jollaista ei vielä Kertopuilla rakenteille ole saatavilla. Useat eri tahot, kuten liittimiä valmistavat Würth ja SFS intec, kehittävät liitosmitoitushjelmia, mutta tällä hetkellä ei Kerto-tuotteiden liitoksille löydy kattavaa liitosmitoitushjelmaa, sillä liitosohjelmien liitos- ja liitinvalikoimat ovat usein suppeat.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Diplomityön tavoite on selvittää millainen rakenne ja käyttöliittymä soveltuisi puikkoliittimillä tehtyjen Kerto-tuotteiden liitosten mitoitusohjelmaan. Ohjelman mitoitus perustuu Eurokoodi 5 -standardiin, sen kansallisiin liitteisiin ja Kerto-tuotteiden VTT-sertifikaatissa esitettyihin Kerto-tuotteita koskeviin erillisohjeisiin. Ohjelman toteutusta varten diplomityössä määritetään ohjelmaan toteutettavat liitostyypit, ohjelman rakenne ja ohjelman käyttöliittymä.

Kerto-tuotteiden liitoksissa keskitytään standardiliitoksiin, jotka ovat mekaanisin puikkoliittimin toteutettavia puikkoliitosteorian mukaisesti mitoitettavia liitoksia, ja Kerto-Ripa-elementtien liitoksiin, joiden mitoitus perustuu Metsä Woodin VTT:llä hyväksyttyihin erillisiin mitoitusohjeisiin. Käytettäviä puikkoliittimiä ovat naulat, ruuvit, pultit ja tappivaarnat. Liitoksissa voidaan käyttää myös standardin mukaisia liitoslevyjä kuten vaneria ja metallia. Hakaset ja naulalevyt, sekä erillisiin valmistajien mitoitusohjeisiin perustuvien metalliliitososien kuten erikoisruuvien, pilari- ja palkkikenkien sekä kulmalevyjen mitoitus jätetään tässä käsittelemättä. Tällaisilla tuotteilla toteutettujen liitosten vaikutus otetaan kuitenkin huomioon liitosmitoitushjelman rakennetta ja käyttöliittymää suunniteltaessa.

Liitosmitoitushjelman kohdemaaksi rajataan Suomi, mutta ohjelman kehityksessä otetaan huomioon sen soveltuvuus myös muihin eurokoodistandardeja käyttäviin maihin. Tätä varten tavoitteena on selvittää Eurokoodi 5 -standardin maakohtaisten ohjeiden vaikutus puikkoliitosten mitoittamiseen ja antaa ohjeet tulevien maaversioiden kehittämiseen.



Mitoitusohjelman määrittelyä varten kartoitetaan yleisempiä Kerto-rakenteiden liitostyyppejä Suomessa ja valituilla Metsä Woodin markkina-alueilla Euroopassa, joita ovat Iso-Britannia, Ranska ja Alankomaat. Kartoituksen tuloksia käytetään valittaessa ohjelmaan toteutettavia liitostyyppejä.

Työssä tutkitaan myös saatavilla olevia puurakenteiden liitosten mitoittamiseen käytettäviä ohjelmia. Analyysin tavoitteena on saada kehitysideoita liitosmitoitushjelman käyttöliittymän ja toiminnallisuuden suunnitteluun, jotta mitoitusohjelmasta saadaan mahdollisimman helppokäyttöinen ja johdonmukainen. Tutkimus ei sisällä liitosmitoitushjelman ohjelmointityötä, vaan se tilataan Metsä Woodin ulkopuoliselta konsultilta D.O.F. tech Oy:lta.

### **1.3 Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen rakenne**

Tutkimuksen teoriaosuudessa käydään läpi puurakenteiden puikkoliitosteorian mukaisten liitosten mitoituksen ominaispiirteitä ja vaikutusta liitosmitoitushjelman rakenteeseen, määritetään Kerto-tuotteiden yleisimpiä liitostyyppejä ja kartoitetaan olemassa olevien liitosmitoitushjelmien toiminnallisuuksia ja puutteita. Diplomityön soveltavassa osuudessa määritellään uuden liitosmitoitushjelman sisältö, rakenne ja käyttöliittymä.

Luvussa 2 käsitellään Kerto-tuotteiden liitostyyppien kartoitusta. Kerto-tuotteiden liitostyyppejä kartoitetaan haastattelemalla Metsä Woodin henkilöstöä Suomessa, Iso-Britanniassa, Ranskassa ja Alankomaissa, sekä Metsä Woodin kanssa yhteistyötä tekeviä suunnittelijakonsultteja, joille Metsä Woodin Kerto-tuotteet ovat tuttuja. Kartoituksen päämääränä on selvittää erilaisia Kerto-tuotteilla käytettäviä liitostyyppejä sekä niiden käyttöä Suomessa ja Metsä Woodin muilla markkina-alueilla.

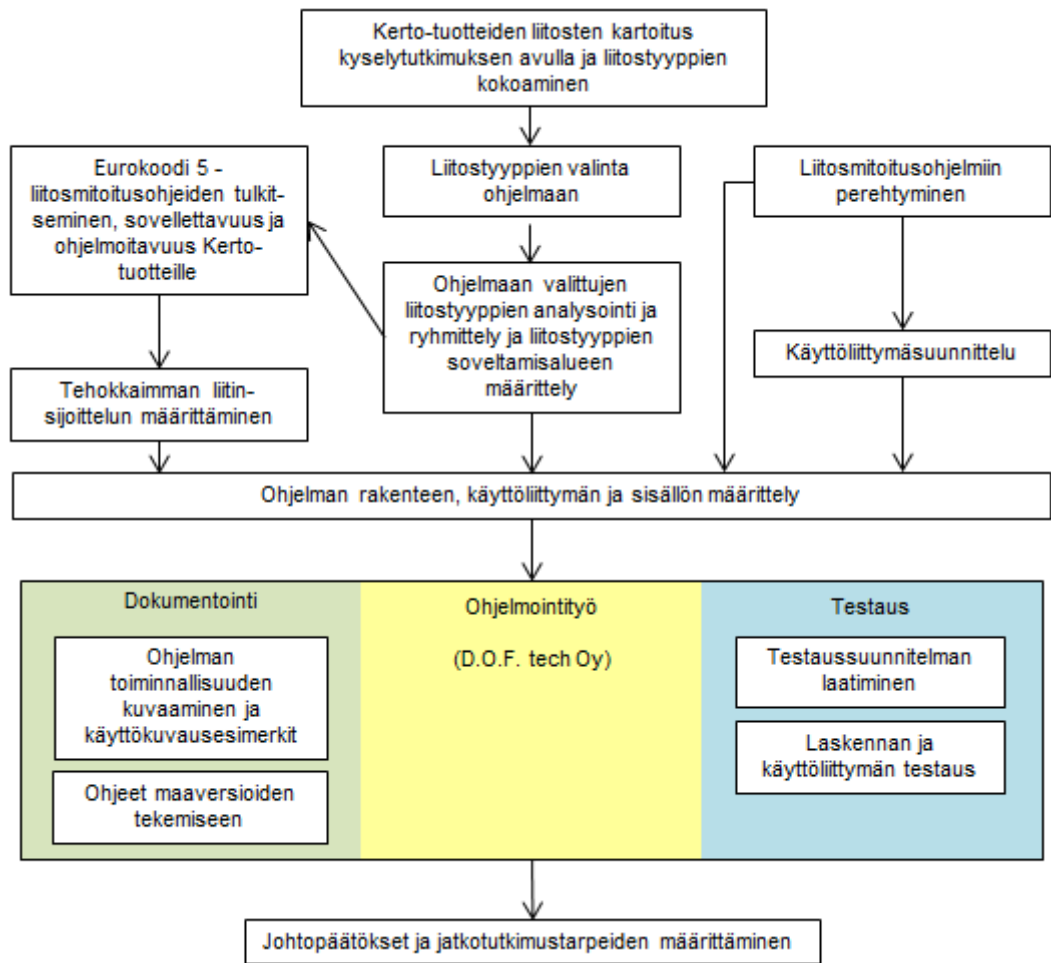
Luvussa 3 perehdytään puurakenteiden puikkoliitosten toimintaan ja mitoittamiseen. Luvussa keskitytään puuosien, liittimien ja liitoslevyjen toimintaan sekä liitinryhmän asettelun reunaehtoihin ja vaikutukseen. Liitosmitoituksessa keskitytään puikkoliitosten mitoittamiseen leikkaukselle, vedolle ja niiden yhteisvaikutukselle. Lisäksi määritetään liitoksen liitossiirtymä ja kiertymäjäykkyys. Luvussa käsitellään myös koko liitosalueen halkeamis- ja lohkeamismurtokestävyyyteen ja liitinten sijoitteluun liittyviä tekijöitä. Mitoitus tehdään Eurokoodi 5 -standardin ja sitä täydentävien kansallisten liitteiden, ohjeiden ja muiden standardien mukaisesti.

Optimoinnin mahdollisuuksia tehokkaimman liitinryhmän määrittämissä tutkitaan luvussa 4. Luvussa perehdytään erilaisiin liitoksen tehokkuuteen vaikuttaviin tekijöihin ja tutkitaan niiden vaikutusta ja rajoituksia. Diplomityössä on tavoitteena selvittää millä ehdoilla liitinsijoittelua voidaan optimoida ja miten tätä voitaisiin liitosmitoitushjelmassa hyödyntää.

Työssä kehitettävän mitoitusohjelman rakenteen, käyttöliittymän ja toiminnallisuuden suunnittelun tueksi analysoidaan luvussa 5 jo käytössä olevia puurakenteiden liitosmitoitushjelmia. Liitosmitoitushjelmista tutkitaan esimerkiksi käyttöliittymän toimintaa ja liitosvalikoimaa.

Liitosmitoitushjelman kehittämistä varten perehdytään ohjelmistokehityksen työkaluihin ja käyttöliittymäsuunnitteluun. Luvussa 6 käsitellään näitä ja määritellään liitosmitoitushjelman rakenne ja sisältö. Lisäksi liitosmitoitushjelmalle tehdään testaussuunnitelma ja testaus. Testauksen pohjalta osoitetaan liitosmitoituksen kriittisimmät tulkintakohdat.

Tutkimuksen rakenne ja liitosmitoitusohjelman kehitysvaiheet on esitetty kuvan 1 kaaviossa.



Kuva 1. Tutkimuksen rakenne ja liitosmitoitusohjelman kehitysvaiheet

## 2 Kerto-tuotteilla tehtyjen puikkoliitosten kartoitus

### 2.1 Kyselytutkimus liitostyyppien kartoittamiseksi

Kerto-tuotteiden liitostyyppijä kartoitettiin kyselytutkimuksella, jotta liitosmitoitushjelman ensimmäiseen versioon toteutettavat liitokset vastaisivat parhaiten nykyistä rakennustapaa. Kyselytutkimus suoritettiin sähköpostitse pyytämällä vastaanottajaa aluksi listaamaan mielestään käytetyimpiä Kerto-tuotteiden liitostyyppijä ja näiden liitososia ja liittimiä. Lisäksi kysyttiin liitosmitoitukseen liittyvien erityistilanteiden tarkastelun tarpeesta. Kyselytutkimuksen kysymykset olivat seuraavat:

1. Mitkä ovat mielestänne käytetyimmät Kerto-tuotteiden liitostyyppit? Mitkä rakenneosat (palkit, pilarit, orret jne.) liittyvät ja minkälaisilla liittimillä?
2. Minkälaiset erikoistilanteet tulevat mielestänne kyseeseen liitoksia mitoitettaessa? Tulisiko esimerkiksi jatkuvan sortuman estämiseen, maanjäristysmitoitukseen tai liitoksen sitkeys- ja kosteusliikkeisiin liittyviä asioita huomioida liitosmitoituksessa vai voidaanko nämä jättää vähemmälle huomiolle?

Kyselytutkimus lähetettiin osalle Metsä Woodin henkilökunnasta Suomessa ja Metsä Woodin ulkopuolisille konsulteille, joille Kerto-tuotteet ovat ennestään tuttuja. Tämän lisäksi asiaan kysyttiin mielipiteitä myös Metsä Woodin Iso-Britannian, Ranskan ja Alankomaiden organisaatioista.

Kyselyyn vastasivat Metsä Woodin Suomen henkilökunnasta tutkimus- ja kehitystiimin kehitysinsinööri Jussi Björman ja suunnittelupäällikkö Henri Salonen, Metsä Wood UK:sta Head of TED Frank Werling ja Senior Engineer Ewa Ostrowska, Metsä Wood Ranskasta Technical Service Manager Renaud Blondeau Patissier ja Metsä Wood NL:stä Comm./Tech. Assistant Martijn Monne. Metsä Woodin organisaation ulkopuolelta vastaukset saatiin insinööritoimisto Tanskanen Oy:n suunnittelupäällikkö Jouko Tanskaselta, Wise Group Oy:n projekti-insinööri Jarkko Kautoselta, KPM-Engineering Oy:n rakennesuunnittelija Petri Kokkoselta ja insinööritoimisto Asko Kerosen Asko Keroselta.

Kyselytutkimuksessa esille tulleista liitostyypeistä tehtiin luonnoskuvat, jotka jaoteltiin liitosten käyttötavan mukaisiksi ryhmiksi. Liitosten luonnokset ja ryhmittely on esitetty liitteessä A1. Kyselytutkimuksen ensimmäiseen osaan vastanneita pyydettiin tämän jälkeen arvioimaan liitosluonnosten perusteella liitostyyppin käytön yleisyyttä. Vastauksia pyydettiin asteikolla usein käytetty – toisinaan käytetty – harvoin käytetty. Vastauksista koostettu taulukko on esitetty liitteessä A2.

Pilari-palkki-, palkki-palkki- ja perustusliitoksia voidaan toteuttaa useilla eri tavoilla, joten näiden liitostyyppien käytön laajuutta kartoitettiin vielä erillisellä kyselyllä, jossa liitostyyppin luonnos kuvauksineen lähetettiin kyselytutkimuksen osallistujille arvioitavaksi. Arviointia pyydettiin jälleen asteikolla usein käytetty – toisinaan käytetty – harvoin käytetty. Kartoituksessa käytetyt luonnokset ja kuvaukset, sekä kartoituksen tulokset on esitetty liitteessä A3.

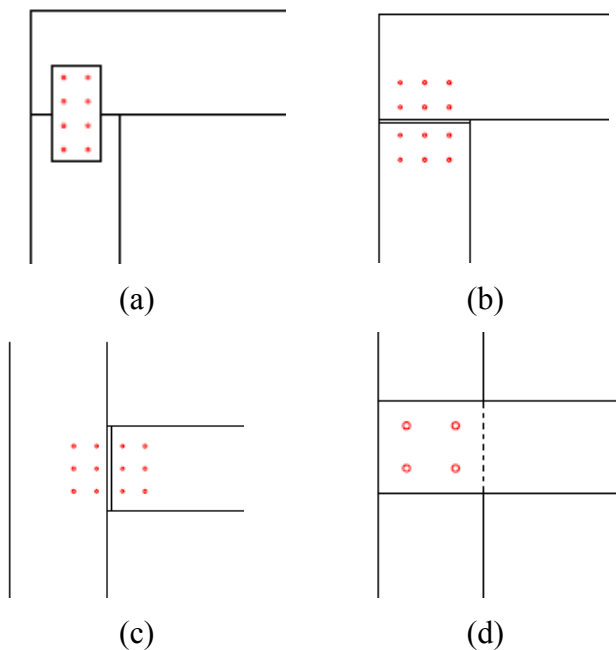
## 2.2 Kerto-tuotteiden yleisimmät liitosten käyttötavat ja liitostyyppit

Kerto-tuotteiden liitostyyppien kartoituksessa erottui selvästi kaksi useamman liitostyyppin sisältävää ryhmää (liite A2). Sekä sauvarakenteiden liitoksiksi että Kerto-Ripa elementtien liitoksiksi luokiteltavia liitostyyppejä määriteltiin useita. Näiden lisäksi kyselyssä tuli ilmi useampi eri liitostyyppi, joille ei löytynyt yhdistäviä tekijöitä. Näitä olivat ripustusliitokset, levyjen ja suojalevyjen kiinnitys palkkien tai pilarien syrjään, erilaiset vahvistusliitokset sekä Kerto-Maxi-palkin liitokset.

### Sauvarakenteiden liitokset

Sauvarakenteiden liitoksiksi käsitetään tässä esimerkiksi pilarien, palkkien ja kehä- ja ristikkorakenteiden kuormia siirtävät liitokset. Kerto-tuotteilla yleisimmiksi nousivat pilari-palkki-liitokset ja palkki-palkki-liitokset. Kerto-tuotteita käytetään myös kehissä yleisesti.

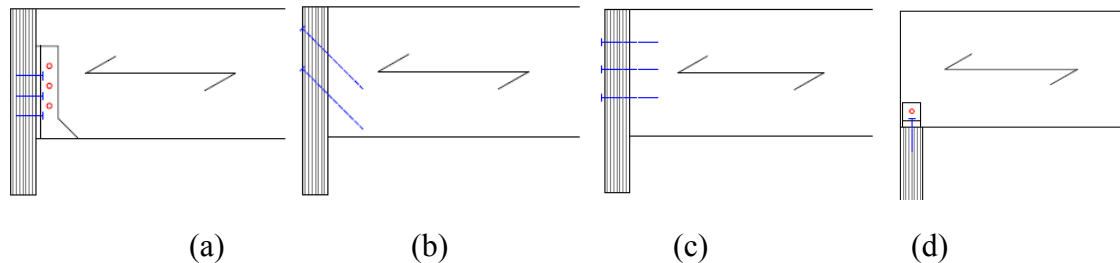
Pilarien ja palkkien väliset liitokset voidaan jakaa karkeasti liitoksen kuormien välitystavan mukaan. Kontaktiliitoksissa palkki tukeutuu pilarin päälle ja palkin kuorma välittyy pilarille pääasiassa palkin ja pilarin välisen kontaktin kautta. Metalliliittimiä käytetään tässä tapauksessa siirtämään vaakasuuntaista leikkausvoimaa sekä estämään palkin putoaminen pilarin päältä. Leikkausliitoksissa palkki tukeutuu pilarin kylkeen esimerkiksi liitoslevyn kautta, jolloin palkin kuorma siirtyy pilarille liittimien leikkauksen kautta. Esimerkkejä erilaisista pilarien ja palkkien välisistä kontakti- ja leikkausliitoksista on esitetty kuvassa 2.



**Kuva 2. Pilarien ja palkkien välisiä liitostyyppejä: (a) liitoslevyllinen kontaktiliitos, (b) liitoslevyllinen kontaktiliitos (liitoslevy puun sisällä), (c) liitoslevyllinen leikkausliitos ja (d) yksi- tai kaksileikkeinen leikkausliitos**

Palkki-palkki-liitokset voidaan toteuttaa joko niin, että sekundääripalkki tukeutuu primääripalkin sivuun tai päälle. Primääripalkin päälle tuettu sekundääripalkki siirtää pääasiallisesti pystyvoimia. Primääripalkin sivuun kiinnitetty sekundääripalkki voi siirtää myös sekundääripalkin suuntaisia vaakavoimia (1 s. 170). Liitokset, joissa palkki tuetaan toisen palkin kylkeen, ovat usein suotuisimpia ratkaisuja, koska ne eivät kasvata

rakennepaksuutta ja palkkien yläpinnat ovat näin samassa tasossa. Erilaiset palkkikengät ovat tällaisten palkki-palkki-liitosten yleisimpiä liitostapoja. Standardiliittimillä voidaan kylkeen liitettäviä palkkeja toteuttaa vinoruuviliitoksina tai päätyruuvauksena ja -naulauksena. Päätyruuvaus ja -naulaus sopivat tilanteisiin, joissa liitoksesta vaadittava kapasiteetti jää pieneksi. Kuvassa 3 on esitetty erilaisia palkkien liitostyyppejä.



**Kuva 3. Palkkien välisiä liitoksia: (a) palkkikenkäliitos, (b) vinoruuviliitos, (c) päätyruuvaus/päätynaulaus, (d) primääripalkin päälle tuettu sekundääripalkki**

Kehien ja ristikoiden liitokset esiintyivät kartoituksessa omina ryhminään, mutta kummastakaan ryhmästä ei noussut esiin muita yksittäisiä liitostyyppejä kuin kolminivelkehän pulttiympeyliitos. Kolminivelkehän pulttiympeyli on muunnos edellä mainitusta yksi- tai kaksileikkeisestä pilarin ja palkin liitoksesta. Yksi- ja kaksileikkeisen liitoksen soveltamista on käsitelty tarkemmin kappaleessa 2.3.1.

### **Kerto-Ripa-elementtien liitokset**

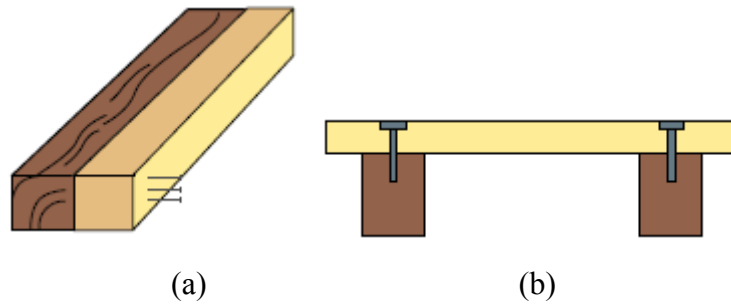
Kerto-Ripa-elementtien liitoksilla käsitetään tässä työssä liitokset, joiden avulla Kerto-Ripa-elementit liitetään osaksi rakennuksen muuta runkoa tai toisiinsa. Kerto-Ripa-elementin sisäisiä liitoksia ei käsitellä tässä yhteydessä. Kerto-Ripa-elementtien detaljeissa on esitetty elementtien liitostyyppit (2). Nämä liitostyyppit ovat vakiintuneet käytössä, eikä suurta vaihtelua liitostyyppien yleisyydessä ole, sillä kaikkia liitostyyppejä käytetään yleensä samassa kohteessa.

### **Ripustusliitokset**

Kerto-tuotteisiin voidaan tehdä erilaisia ripustusliitoksia esimerkiksi LVIS-laitteiden tai valaistuksen ripustusta varten. Palkkien ripustusliitokset ovat mahdollisia suoraan tai esimerkiksi metallilevyllä joko palkin syrjään tai lappeeseen. Kerto-Ripa-elementteihin ripustusliitokset voidaan tehdä elementin ripaan (myös alalevyn läpi) tai alalaattaan ripojen väliin.

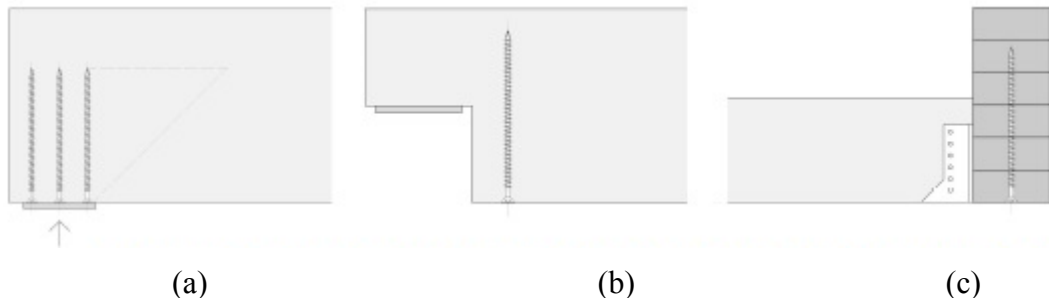
### **Vahvistusliitokset**

Kartoituksessa esiin tulleet vahvistusliitokset voidaan jakaa kahteen ryhmään. Erityisesti Ranskassa Kertopuuta käytetään vahvistamaan vanhoja rakenteita. Tällöin vahvistusliitos on vanhan puurakenteen ja tämän kylkeen liitettävän Kerto-vahvistuksen välinen liitos. Esimerkkejä vahvistustapauksista on esitetty kuvassa 4.



**Kuva 4. Vanhojen rakenteiden vahvistuksia: (a) Kerto-S palkin liittäminen vanhan palkin kylkeen, (b) vanhojen palkkien tukeminen Kerto-Q levyllä (3 s. 4)**

Metalliliittimillä voidaan myös tehdä esimerkiksi poikittaisen vedon tai puristuksen vahvistuksia tuella, loveuksessa tai liitoskohdassa. Esimerkkejä tästä vahvistusliitostyypistä on esitetty kuvassa 5.



**Kuva 5. Vahvistuksia: (a) poikittaisen puristuksen vahvistus tuella, (b) poikittaisen vedon vahvistus loveissa ja (c) poikittaisen vedon vahvistus liitoksessa (4 s. 6)**

### **Levyjen naulaus palkin tai pilarin syrjään**

Levyjen liitoksia esiintyi kartoituksessa kahta päätyyppiä. Levy voi olla joko rakennetta jäykistävä levy, jolloin levyn ja pilarin tai palkin välisen liitoksen on tarkoitus siirtää rakenteen stabiliteettiin liittyviä kuormia tai suojalevy, kuten rakennuksen vaipan levytys. Tällöin liitoksessa tulisi mitoittaa esimerkiksi tuulen imupaineesta johtuvien kuormien aiheuttama rasitus.

## **2.3 Liitostyyppien valinta mitoitusohjelmaan**

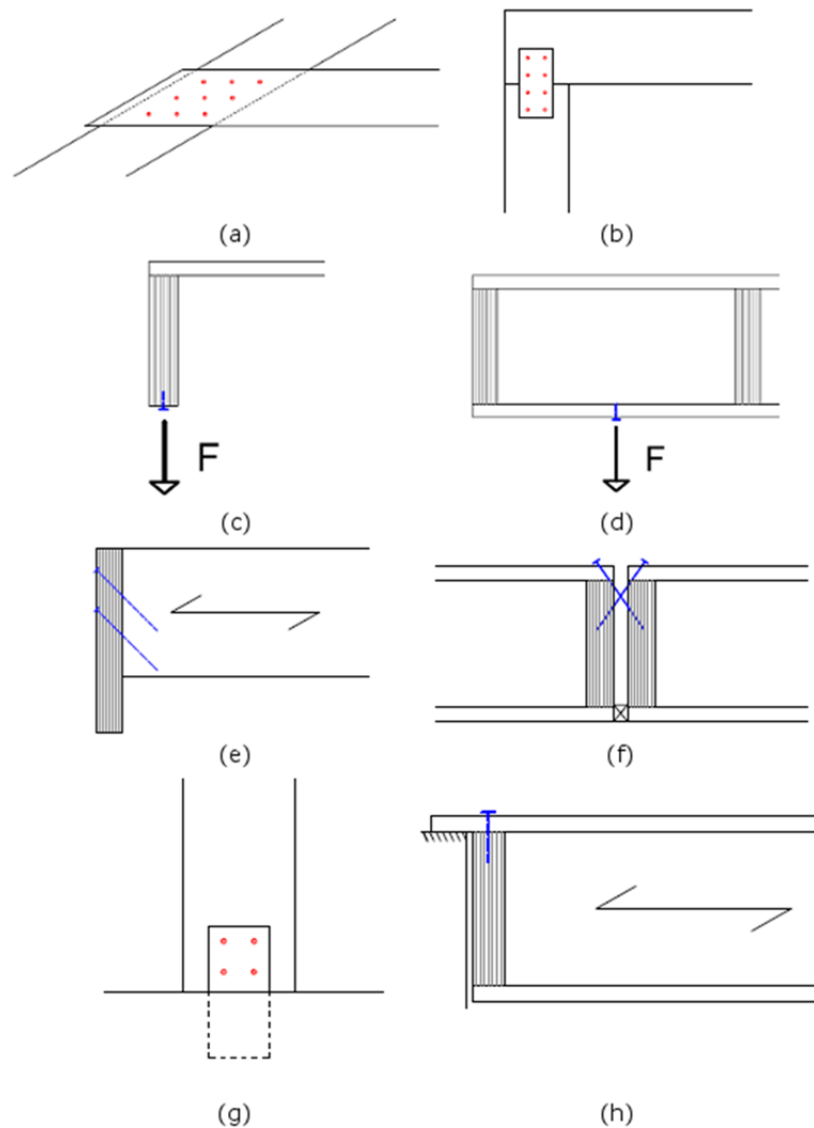
Liitostyyppien valinta mitoitusohjelman ensimmäiseen julkaisuversioon perustuu diplomityöhön tehtyihin rajauksiin ja yleisimpien liitostyyppien kartoituksen tuloksiin. Diplomityössä käsiteltävät liitokset rajattiin jo työn alussa koskemaan vain puhtaasti mekaanisia puikkoliitinliitoksia. Tämä sulkee esimerkiksi liimatut sauvat ja naulalevyt diplomityön ulkopuolelle.

Diplomityössä valittiin ensimmäisenä toteuttavien liitosten joukkoon yhteensä kahdeksan eri liitostyyppiä. Nämä liitokset pyrittiin valitsemaan niin, että valinta pohjautuisi liitostyyppien käytön yleisyydestä kartoituksessa saatuihin tietoihin, jotta liitosvalikoima olisi jo ohjelman alkuvaiheessa mahdollisimman monipuolinen ja vastaisi käyttäjien tarpeisiin. Painoa valinnassa annettiin myös liitostyyppien mitoitusohjelmalle. Valinnassa pyrittiin priorisoimaan liitostyyppiä, joiden avulla ohjelman kehityksen alkuvaiheessa päästäisiin käsittelemään mahdollisimman monipuolisesti

erilaisten liitosten mitoittamista. Liitosmitoitushjelman ensimmäiseen vaiheeseen valitut liitostyypit olivat toteutusjärjestyksessä:

- a) puuosien välinen leikkausliitos
- b) pilarin ja palkin välinen liitoslevyllinen kontaktiliitos
- c/d) ripustusliitokset
- e) palkkien välinen vinoruuvaus
- f) elementtien välinen leikkausliitos
- g) liitoslevyllinen leikkausliitos
- h) ylälaatasta ripustetun Kerto-Ripa-elementin tukiliitos

Liitosten periaatekuvat on esitetty kuvassa 6.

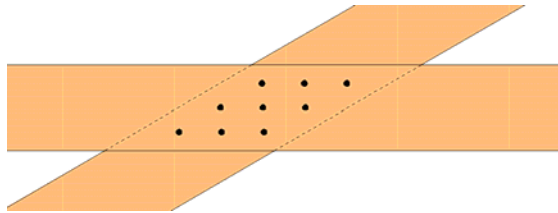


**Kuva 6. Liitosmitoitushjelman ensimmäiseen vaiheeseen valitut liitostyypit: (a) puuosien välinen leikkausliitos, (b) liitoslevyllinen kontaktiliitos, (c) ja (d) ripustusliitokset, (e) palkkien välinen vinoruuvaus, (f) elementtien välinen leikkausliitos, (g) liitoslevyllinen leikkausliitos ja (h) ylälaatasta ripustetun Kerto-Ripa-elementin tukiliitos**

### 2.3.1 Pilarien ja palkkien väliset liitokset

Pilarien ja palkkien välisissä liitoksissa yleisimmäksi liitostyypeiksi kyselyssä nousivat erillisiin valmistajakohtaisiin hyväksyntöihin perustuvat palkkikengillä toteutettavat liitokset sekä yksi- tai kaksileikkeiset puuosien väliset leikkausliitokset.

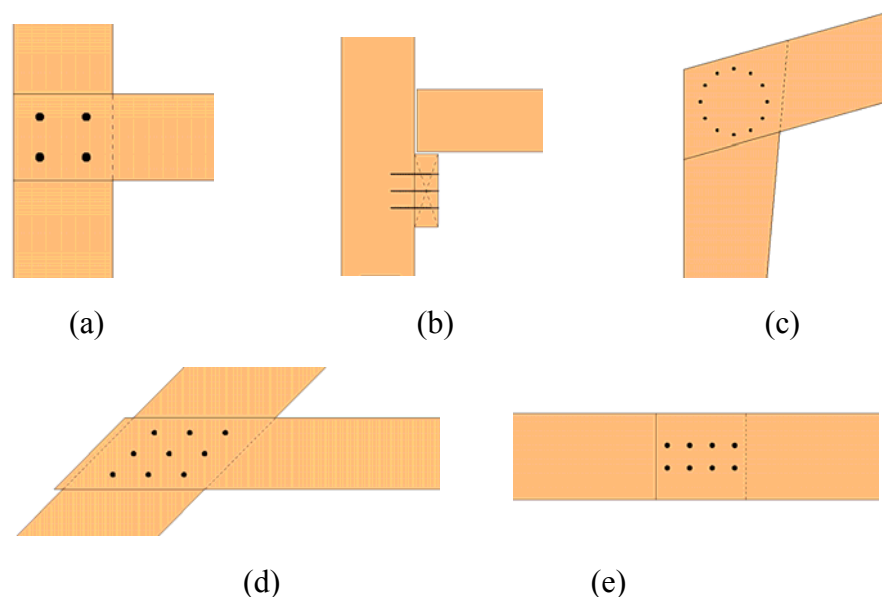
Yksi- tai kaksileikkeinen puuosien välinen leikkausliitos (kuva 7) valittiin diplomityössä toteuttavien liitosten joukkoon sen yleisyyden ja monipuolisuuden vuoksi. Samaa liitostyyppiä soveltamalla voidaan muodostaa yksi- tai kaksileikkeinen pilari-palkki-liitos, tukipuuliitos, sekä erilaisia kehien ja ristikkorakenteiden liitostyyppejä, kuten A-kattotuolin kattopalkin ja kitapuun välinen liitos, kolminivelkehän pulttiympyräliitos sekä paarteen jatkoliitos.



Kuva 7. Puuosien välinen leikkausliitos

Edellä mainitut puu-puuleikkausliitoksen muunnokset on esitetty kuvassa 8. Muunnosten käyttötarkoitukset vaihtelevat toisistaan, mutta kaikkien muunnosten laskenta perustuu samaan puukappaleiden väliseen puhtaaseen leikkausliitokseen. Laskennallisia eroja syntyy liitinten sijoitteluista ja puukappaleiden reunoista, jotka rajoittavat liitinten sijoittelua. Yksi- tai kaksileikkeisessä pilari-palkki-liitoksessa puuosien välinen kulma on  $90^\circ$  ja vaakapuun ylitystä voidaan rajoittaa. Tukipuuliitoksessa tukipuun kokoa voidaan rajoittaa molemmilta puolilta, mutta myös jättää rajoittamatta. Pulttiympyräliitoksessa puuosien välille sallitaan muutkin kulmat kuin  $90^\circ$  ja myös pystypuun ylitystä on rajoitettu. Pulttiympyräliitos on suunniteltu erityisesti momenttiliitokseksi, jonka vuoksi pultit asetellaan kiertokeskiön mukaisesti ympyrään, jotta liitoksen jäyhyysmomentin ja kuormien jakautumisen arvioiminen olisi yksinkertaisempaa. A-kattotuolin kattopalkin ja kitapuun välisessä liitoksessa vaakapuun pää voidaan muotoilla eri tavoin ja paarteen jatkoliitoksessa puuosien välinen kulma on  $0^\circ$ . Tällöin liitosalue rajataan katkaisemalla molemmat puut.





**Kuva 8. Puuosien välisen leikkausliitoksen muunnoksia: (a) yksi- tai kaksileikkeinen pilari-palkki-liitos, (b) tukipuuliitos, (c) kolminivelkehän pulttiympyräliitos, (d) A-kattotuolin kattopalkin ja kitapuun välinen liitos, (e) paarteen jatkoliitos**

Valitsemalla puuosien välinen leikkausliitos ohjelmaan pyritään toteuttamaan liitostyyppi, jota voidaan käyttää mahdollisimman monipuolisesti eri tarkoituksiin. Liitoksen kohdalla pyritään siis määrittämään mahdollisimman tarkasti sen eri muunnokset ja näiden soveltuminen erilaisiin ratkaisuihin.

Myös liitoslevyllinen kontaktiliitos määriteltiin liitostyyppikartoituksen perusteella ohjelman ensimmäiseen versioon toteutettavaksi liitokseksi. Tästä liitostyypistä esiintyy kahta eri sovellutusta: liitoslevy(t) pilarin ja palkin ulkopuolella tai liitoslevy rakenteen sisällä. Liitoslevyllisen kontaktiliitoksen oleellinen ero puuosien väliseen leikkausliitokseen on liitoksessa käytettävien liitoslevyjen vaikutus liitoksen mitoittamiseen. Liitostyyppin avulla pystytään laajentamaan liitosmitoitushjelman liitosvalikoimaa koskemaan myös liitoslevyllisiä standardiliitoksia. Lisäksi kontaktiliitoksessa suurin osa kuormasta välittyy kontaktin kautta, joten myös rakenteen tukipintojen kestävyys tarkastelu on tälle liitostyypille ominainen.

Kartoituksen perusteella harvinaisempia liitostyyppejä ovat liitoslevyllinen leikkausliitos ja kulmalevyllinen kontaktiliitos. Näistä ensimmäistä käytetään kuitenkin yleisesti esimerkiksi Iso-Britanniassa ja Alankomaissa. Liitoslevyllinen leikkausliitos päätettiin sisällyttää ohjelman ensimmäiseen versioon toispuolisena liitoslevyllisenä leikkausliitoksena. Tässä tapauksessa liitoksen toinen puoli on siis määrittelemätön ja käyttäjän vastuulle jää tämän puolen mitoittaminen jollakin muulla menetelmällä. Liitostyyppiä voidaan käyttää esimerkiksi puupilareiden perustusliitosten mitoituksessa ja puurakenteiden liittämässä muihin rakenteisiin. Tätä liitostyyppiä laajentamalla voidaan ohjelmaan lisätä myös puisen pilarin ja palkin välinen liitoslevyllinen leikkausliitos, jossa mitoitetetaan liitoksen kummatkin puolet.

### 2.3.2 Palkkien väliset liitokset

Kyselyn perusteella palkkien välisistä liitoksista erillisillä palkkikengillä toteutettavat liitokset nousivat pilari-palkki-liitosten tapaan kaikkein yleisimmiksi liitostyypeiksi kaikissa mukana olleissa maissa. Standardiliittimillä toteutettavista liitostyypeistä

yleisemmäksi nousi vinoilla ruuveilla toteuttava ruuvaus palkin lappeen läpi toisen palkin päähän. Erikoistapaus, jossa liittimien kulma palkkiin nähden on 0° ja kestävyys alhaisempi, oli kyselyn mukaan harvinaisempi.

Jos vinoruuviiliitos toteutetaan ratkaisuna, jossa ruuvien kulman voi valita mahdollisimman vapaasti, on syytä ottaa heti tarkasteltavaksi kaikki mahdolliset kulmavaihtoehdot. Tarkemman tarkastelun perusteella voidaan tehdä ratkaisuja sen suhteen, miten ja millä edellytyksillä liittimien kulmaa voidaan ja pitää rajoittaa. Vinoruuviiliitos ja sen muunnokset päätyruuvaus ja -naulaus valittiin ensimmäisenä toteuttavien liitosten joukkoon yleisyytensä perusteella.

### **2.3.3 Perustusliitokset**

Perustusliitoksissakin yleisimmäksi liitostyypiksi kartoituksessa osoittautuivat erilaisilla pilarikengillä toteutetut liitokset. Myös kulmalevyliitokset ja liimatankoliitokset olivat yleisimpien liitostyyppien joukossa.

Standardiliitososien käyttö perustusliitoksissa oli kyselyn perusteella huomattavasti näitä harvinaisempaa. Standardimetallilevyjä käytetään jonkin verran leikkaus- ja momenttiperustusliitoksissa. Ainoaksi toteutettavaksi liitostyypiksi valittiin liitoslevyllinen leikkausliitos, jota voidaan soveltaa myös muihin kuin perustusliitoksiin. Liitoslevyllisessä perustusleikkausliitoksessa puupilarin alapuolinen rakenne voi olla esimerkiksi betonia, joten liitosmitoitushjelmassa mitoitettavaksi osaksi jää vain puupuolen mitoittaminen.

### **2.3.4 Kerto-Ripa-elementtien liitokset**

Kerto-Ripa-elementtien liitoksien välille ei liitostyypikartoituksessa syntynyt käytön yleisyydessä juurikaan eroja, joten tällä perusteella ei valintoja liitosmitoitushjelman ensimmäiseen julkaisuversioon voitu tehdä. Kerto-Ripa-elementit ovat olennainen osa Metsä Woodin puukerrostalokonseptia katto- ja lattiarakenteina, joten Kerto-Ripa-elementtien liitokset haluttiin ehdottomasti mukaan ohjelmaan jo heti alusta sillä ne ovat Kerto-rakenteiden yleisimpiä liitoksia Suomessa, Ranskassa ja Alankomaissa. Kerto-Ripa-elementtien mitoitus tehdään Metsä Woodin omien ETA-hyväksyntöjen mukaisesti, joten niiden mitoitus poikkeaa standardiliitosten mitoituksesta.

Kerto-Ripa-elementtien liitoksista ohjelman ensimmäiseen julkaisuversioon valittiin mukaan kaksi liitostyyppiä. Kerto-Ripa-elementtien yhteen liittäminen valittiin mukaan, koska se on yksinkertainen ristikkäisellä vinoruuvauksella toteutettava liitostyyppi, joka on osittain verrattavissa standardiliitoksiin. Ylälaatasta ripustetun Kerto-Ripa-elementin tukiliitos päätettiin toteuttaa hyvänä esimerkkinä täysin omanlaisesta mitoitusmenetelmästä.

### **2.3.5 Ripustusliitokset**

Ripustusliitostyyppijä tunnistettiin kartoituksen aikana kolme erilaista. Kerto-palkin syrjään ja Kerto-Ripa-elementin alalaattaan tehtävät ripustusliitokset päätettiin toteuttaa ohjelman ensimmäiseen versioon. Palkin lappeeseen tehtävät ripustusliitokset (lisäkappaleilla tai ilman) päätettiin jättää myöhäisempään vaiheeseen liitosmitoitushjelman kehityksessä.

Palkin syrjään ja lappeeseen tehtävien ripustusliitosten mitoitus on standardin mukaista leikkauksen tai vedon mitoittamista. Kerto-Ripa-elementtien alalaattojen ripustusliitokset mitoitetaan Kerto-Q levyjen ripustusliitosten mitoituksen mukaisesti,

jos ripustuskohta on elementin kentässä. Jos ripustus tehdään elementin rivan kohdalle, mitoitetaan liitos Kerto-S-palkkien ohjeiden mukaisesti.

### **2.3.6 Jäykistys- ja suojalevyjen liitokset**

Puuseiniä, joiden ranka on Kertopuuta, jäykistetään usein kiinnittämällä rankaan puulevy. Puulevy voi olla esimerkiksi vaneria, OSB-levy tai Kerto-Q-levy. Jäykistyslevyn liitokset Kerto-tuotteilla ovat erittäin yleisiä, mutta niiden mitoitus pelkkänä liitoksena ei ole tarkoituksenmukaista.

Jäykistysliitoksen mitoituksessa tulisi aina huomioida myös itse jäykistyslevyn mitoitus, jolloin tulisi tarkastella koko jäykistyslohkoa. Insinööritoimisto Lahtela kehittää parhaillaan Excel-taulukkolaskentapohjaista ohjelmaa jäykistyslevyjen ja niiden liitosten mitoittamiselle. Tämä projekti vastaa Metsä Woodin tarpeita tällaisen työkalun osalta, joten jäykistyslevyjen liitosten mitoittaminen jätettiin liitosmitoitusohjelman kehityksessä huomioimatta.

### **2.3.7 Vahvistusliitokset**

Vahvistusliitokset ovat kyselyn tulosten mukaan melko harvinaisia Kerto-tuotteilla. Vahvistusliitoksia on useita erilaisia, eikä niiden joukosta tunnistettu liitostyyppiä, joiden ottaminen liitosmitoitusohjelman ensimmäiseen versioon olisi koettu tarpeelliseksi.

### **2.3.8 Kerto-Maxi-palkin liitokset**

Kerto-Maxi-palkkien käyttö on kartoituksen mukaan erittäin vähäistä. Metsä Woodin Ranskan organisaatio on kiinnostunut Kerto-Maxin kehityksestä, mutta Kerto-Maxi-palkkien liitokset päätettiin jättää tässä vaiheessa liitosmitoitusohjelmasta.

### **3 Puurakenteiden puikkoliitokset ja puikkoliitosten mitoitus**

Tässä luvussa käydään läpi puurakenteiden puikkoliitosten rakennetta, toimintaa ja mitoitus. Puurakenteiden puikkoliitoksilla tarkoitetaan naula-, ruuvi-, pultti- tai tappivaarnaliitoksia, joissa on liitetty yhteen rakennepuuosia joko suoraan tai käyttämällä puu- tai metallilevyjä välikappaleina.

Kerto-tuotteiden puikkoliitosten mitoitus ei poikkea merkittävästi muiden puurakenteiden puikkoliitosten mitoituksesta. Pääasialliset erot ovat reunapuristuslujuuksien sekä liitetaisyysien määrittämisessä. Kerto-Q-tuotteilla nämä erot voivat olla huomattaviakin. Kerto-Q-tuotteissa osa viiluista on poikittain pääsuuntaan nähden, jolloin poikittaisviilut vahvistavat kappaletta pääsuuntaan vastaan kohtisuorassa suunnassa. (5 ss. 18-34)

#### **3.1 Puurakenteiden yleinen puikkoliitosteoria**

Nykyisin puurakenteiden puikkoliitosten mitoituksessa käytettävä yleinen puurakenteiden puikkoliitosteoria pohjautuu tanskalaisen K. W. Johansenin 1940-luvulla esittämään menetelmään puikkoliittimillä toteutettujen puurakenteiden liitosten mitoittamiseksi. Johansenin esittämän teorian mukaan puikkoliitoksen kestävyys riippuu osittain puun kestävydestä liittimen aiheuttamaa painetta vastaan ja osittain liittimen taivutuskestävyydestä (6 s. 251).

Eurokoodi 5 -standardissa esitettäviä puikkoliitosten mitoitusohjeita on kehitetty eteenpäin myöhempien tutkimustulosten pohjalta. Näin on saatu nykyiset menetelmät puuosien reunapuristuslujuuksien, liittimien myötömomenttien ja liitoksen poikittaisen sekä aksiaalisen kestävyden määrittämiseen. Tämän lisäksi on määritetty tarkemmin liittinten reuna- ja välitaisytydet sekä edellytykset joilla puikkoliitosteorian mukaista mitoitus voidaan tehdä. Puikkoliitosteorian mukainen mitoitus soveltuu pääasiassa ohuehkoille liittimille (7 s. 10).

Puurakenteiden metallisilla puikkoliittimillä toteutetuissa liitoksissa mitoitetaan liittimen poikittainen kestävyys, liittimien ulosvetolujuus ja puuosien kestävyys lohkeamista, halkeamista ja murtumista vastaan. Jos liitoksessa on käytetty teräslevyä, on myös teräslevyn kestävyys tarkistettava. Liitoksen murtuminen voi johtua minkä tahansa liitososan kestävyden pettämisestä.

#### **3.2 Puun käyttäytyminen puikkoliitoksessa**

##### **3.2.1 Syyrakenne**

Puu on rakennusmateriaalina ainutlaatuinen luonnonmateriaali, jonka luonnolliset ominaisuudet tulee ottaa kaikessa suunnittelussa huomioon. Puulla on sen kasvutavan tuottama syyrakenne, joka tekee puusta materiaalina ortotrooppisen. Ortotrooppisella materiaalilla lujuusominaisuudet vaihtelevat materiaalin eri suunnissa. Puulla tämä tarkoittaa suurempia kestävyksiä syysuunnassa kuin syysuuntaa vastaan. Puun syysuunnan vaikutus on siis huomioitava myös liitosten mitoituksessa, sillä syysuuntaan kuormitettu liitosryhmä on usein kestävämpi kuin vastaava syysuuntaa vastaan kuormitettu liitosryhmä.

### 3.2.2 Kosteusmuodonmuutokset

Puun syy rakenne tekee puusta myös hygroskooppisen materiaalin. Hygroskooppiset materiaalit kykenevät imemään itseensä vettä ympäröivästä ilmasta ja luovuttamaan sitä myös takaisin. Puun kosteuspitoisuus siis vaihtelee sen ympäristön kosteuspitoisuuden mukaisesti.

Kaadettu puu alkaa kuivua ja kuivumisen johdosta puu kutistuu. Tämä kuivumisesta johtuva kutistuminen on huomioitava rakenteita suunniteltaessa, sillä puu usein kuivuu vielä asennuksen jälkeenkin. Puun kuivumisesta johtuvasta kutistumisesta aiheutuvat lisärasitukset on huomioitava puurakenteiden liitoksia mitoittaessa.

Suoria ohjeita kosteusmuodonmuutosten vaikutuksesta liitosmitoitukseen Eurokoodi 5 antaa vain naulojen ulosvetokestävyydelle; naulan ulosvetolujuuden oletetaan heikkenevän kolmanneksella, jos puu kuivuessaan kutistuu huomattavasti. (8 s. 61) Muissa tapauksissa liitosten kosteusmuutokset huomioidaan muiden puurakenteiden tapaan aikavaikutuskertoimella  $k_{mod}$  kestävyyksien mitoitusarvoissa.

### 3.3 Puikkoliittimet

Liitosmitoitushjelman liitinvalikoima rajoitetaan tässä työssä kattamaan standardin EN 14592 mukaiset naulat, ruuvit, pultit ja tappivaarnat. Työssä tarkastellaan siis liittimiä, joiden halkaisija  $d$  on välillä 1,9 mm ja 30 mm. Liitinvalmistajan ETA-hyväksynnän perusteella voidaan tehdä poikkeuksia standardin mukaiseen mitoitukseseen, mutta näiden poikkeusten selvittämisen ja keräämisen eri liitinvalmistajilta todettiin olevan toisarvoista diplomityön kannalta.

Puikkoliitosten mitoitust poikittaiselle kuormitukselle on kullekin liittintyypille hyvin samanlainen. Liittimille määritetään lähinnä niiden paksuudesta riippuva reunapuristuslujuus ja myötömomentti, joiden perusteella puhdas leikkauskestävyys määritetään. Pitkittäin kuormittuvien liittimien mitoituksessa on kuitenkin suurempia eroja. Nämä erot johtuvat pääasiassa liittimien pintojen ja kantojen erilaisuudesta. Seuraavassa on käsitelty tarkemmin erilaisten liittimien ominaisuuksia ja niiden vaikutusta liittinten poikittaiseen ja pitkittäiseen mitoitukseseen.

#### 3.3.1 Naulat

Naulat jaotellaan eri tyyppeihin niiden muodon ja naulan pinnan laadun mukaisesti. Naulan pinta voi olla joko sileä tai uritettu pitkittäis- tai poikittaissuunnassa. Pinnan laadusta riippuen naulojen mitoituksessa käytetään hieman erilaisia ohjeita. Pitkittäin uritetut uranaulat mitoitetaan nelikulmaisina nauloina. (8 s. 55)

Profiloiduilla naulalla tarkoitetaan tässä poikittaissuunnassa uritettua naulaa, esimerkiksi kampa- tai kierrenaulaa. Profiloiduille nauloille käytetään hieman erilaisia mitoituskavaoja kuin sileille nauloille, sillä esimerkiksi ulosvetolujuus on profiloidulla naulalla usein sileää naulaa suurempi. Liitoksen mitoituksessa voidaan käyttää profiloidun naulan ohjeita, kun naulan profiloitu osuus on tarpeeksi suuri (vähintään 4,5d). (9 s. 101)

Naulan geometrian määrittelyyn tarvitaan seuraavat tiedot (8 ss. 55-61) (10 s. 6):

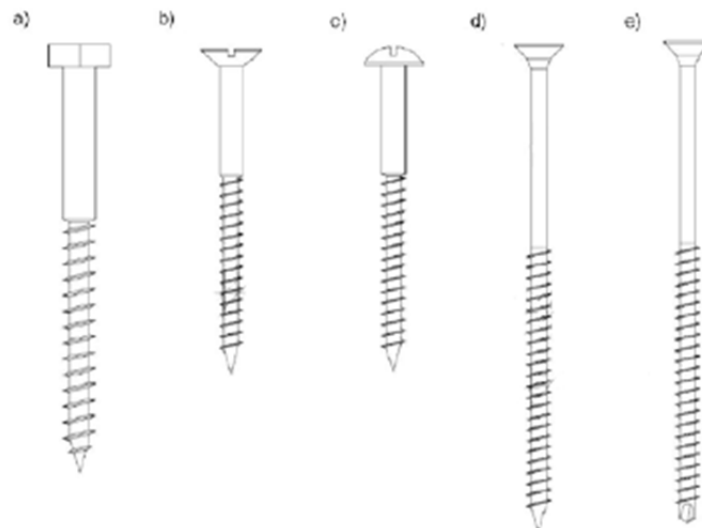
- naulan pituus
- naulan varren profiloidun osuuden pituus, jos naula on profiloitu
- naulan paksuus (pyöreän naulan halkaisija tai nelikulmaisen naulan poikkileikkauksen sivun pituus)

- naulan kannan halkaisija
- naulan kärkiosan pituus

Naulan lujuusominaisuuksien määrittämiseksi täytyy määritellä naulan teräslaatu tai naulan langan vetolujuus  $f_u$ . Sileille nauloille voidaan osa lujuusominaisuuksista laskea puikkoliitosteorialla, jos tietyt alkuehdot täytetään. Muissa tapauksissa lujuusominaisuudet täytyy määrittää kokeellisesti. Esimerkiksi sileiden naulojen myötömomentti  $M_{y,Rk}$  voidaan määrittää laskennallisesti, jos tunnetaan naulan halkaisija ja vetolujuus  $f_u$ , joka on vähintään 600 N/mm<sup>2</sup> (8 s. 55). Laskennallisesti voidaan määrittää myös sileiden naulojen ulosvetolujuuden ja läpivetolujuuden ominaisarvot  $f_{ax,k}$  ja  $f_{head,k}$ , jos sileiden naulojen tunkeuma kärjenpuoleiseen puukappaleeseen on vähintään  $8d$  ja tunnetaan puukappaleen ominaistiheys  $\rho_k$  (8 s. 61). Profiloiduille nauloille nämä arvot on määritettävä kokeellisesti (11 s. 12).

### 3.3.2 Ruuvit

Puikkoliitosteoriaa käytettäessä voidaan ruuvit jakaa kahteen päätyyppiin; kansiruuveihin ja itseporautuviin ruuveihin. Kansiruuveilla varren sileän osan halkaisija on yhtä suuri kuin kierteisen osan ulkohalkaisija. Itseporautuvilla ruuveilla kierteisen osan ulkohalkaisija on varren sileän osan halkaisijaa suurempi. Kuvassa 9 on esitetty erilaisia ruuvityyppejä.



Kuva 9. Kansiruuveja (a), (b) ja (c) sekä itseporautuvia ruuveja (d) ja (e)

Ruuvien geometrian määrittelyyn tarvitaan seuraavat tiedot (8 ss. 67-70):

- ruuvien pituus
- ruuvien kierteisen osan pituus
- ruuvien sileän osan halkaisija
- ruuvien kierteisen osan ulkohalkaisija
- ruuvien kierteisen osan sisähalkaisija
- ruuvien kannan halkaisija

Ruuvien ominaisuuksien kannalta ruuvien kierteisen osan geometria on tärkeä tuntea hyvin. Ruuvien varren kierteisen osan osuus ruuvien pituudesta tulisi olla vähintään  $4d$ . Ruuvien tyypistä riippuen laskennassa käytettävä ruuvien tehollinen halkaisija  $d_{ef}$  määritetään hieman eri tavalla (8 s. 67).

Ruuvien lujuusominaisuudet voidaan määrittää joko laskennallisesti tai kokeellisesti. Ruuvien halkaisijasta riippuen ruuvien myötömomentti ja reunapuristuslujuudet voidaan määrittää samoilla menetelmillä kuin nauloille tai pulteille (8 s. 67). Ruuvien poikittainen kestävyys on siis suoraan rinnastettavissa muihin puikkoliitintyyppihin.

Pitkittäin kuormitettujen ruuvien laskenta poikkeaa muista liitintyypeistä. Pitkittäin kuormitetuille ruuveille tulee tarkastaa puuosien välisissä liitoksissa ruuvien kierteisen osan ulosvetomurtuminen (ulosvetokestävyys), kannan läpivetomurtuminen (läpivetokestävyys) ja ruuvien vetomurtuminen (vetolujuus). Teräslevyllisissä liitoksissa on tarkastettava myös ruuvien kannan irtoaminen ja lohkeamis- ja palamurtuminen. Puristetuissa liitoksissa on myös tarkastettava ruuvien nurjahtaminen.

Jos ruuvien ulkohalkaisija  $d$  on vähintään 6 mm, mutta enintään 12 mm ja ruuvien kierteen sisähalkaisijan ja ulkohalkaisijan suhde on välillä 0,6...0,75, voidaan ruuvien ulosvetokestävyys määrittää laskennallisesti, jos tunnetaan ruuvien geometria, liittyvien puuosien paksuudet ja ominaistiheydet ja ruuvien akselin ja puuosan syysuunnan välinen kulma. Ruuvien akselin ja puuosan syysuunnan välisen kulman on myös tässä tapauksessa oltava vähintään 30°. Laskennallista arvoa ei voi siis käyttää syysuuntaan asennettujen ruuvien ulosvetokestävyys laskennassa. Muissa tapauksissa on ulosvetolujuuden ominaisarvo  $f_{ax,k}$  määritettävä kokeellisesti. (8 s. 69)

Ruuvien läpivetokestävyys laskemiseksi täytyy kokeellisesti määrittää ruuvien läpivetoparametrin ominaisarvo  $f_{head,k}$ . Ruuvien vetokestävyys ominaisarvo  $f_{tens,k}$  on määritettävä testaamalla ellei kyseessä ole puuosien välinen liitos. Puuosien välisissä liitoksissa voidaan RIL 205-1-2009 muutoksen 23.9.2010 mukaan laskea vetokestävyys ominaisarvo kierteisen osan sisähalkaisijasta ja vetomurtolujuudesta  $f_{u,k}$ .

### 3.3.3 Pultit

Pulttiliitin lävistää koko liitoksen ja se koostuu pultin varresta, mahdollisesta aluslaatasta ja muttereista. Aluslaattaa on käytettävä, jos mutteri asennettaisiin muuten suoraan vasten puuosaa. Jos liitoksen uloin liitososa on metallilevy, voidaan aluslaatta jättää mutterin alta pois. Pultin geometrian määrittelevät seuraavat tiedot:

- pultin pituus
- pultin halkaisija
- aluslaatan halkaisija tai sivun pituus
- aluslaatan paksuus
- pultin kierteisen osan pituus
- pultin kierteisen osan sisähalkaisija

Pultin poikittainen mitoitus ei poikkea oleellisesti naulojen mitoituksesta, vaan poikittaisrasitetut pultit mitoitetaan paksuina pyöreinä esiporattuina nauloina. Huomattavin ero on sahatavaran ja Kertopuun laskennassa pulteilla huomioitava puuosan syysuunnan ja kuormituksen välisen kulman vaikutus reunapuristuslujuuteen. Reunapuristuslujuutta pienennetään, jos kuormituksen suunta poikkeaa puuosan syysuunnasta. Jos puuosan syysuunnan ja kuormituksen välinen kulma on 0°, on pulttien reunapuristuslujuus sama kuin esiporatuilla nauloilla. Vanerien ja lastulevyjen reunapuristuslujuudet ovat hieman suurempia, kun käytetään pultteja. (8 ss. 55, 60, 64, 66)

Pitkittäin kuormittuvan pultin mitoituksessa on puuliitoksissa tarkastettava pultin vetokestävyys ja aluslaatan kestävyys. Teräslevyllisissä liitoksissa on tarkastettava myös

teräslevyn kestävyys. Näiden mitoitus varten on tunnettava pultin teräksen vetomurtolujuus  $f_{u,k}$ . Pulttien vetomurtolujuudet määritellään pulttiluokkien perusteella. Pulttiluokat ja niitä vastaavat ominaislujuudet on esitelty taulukossa 1.

**Taulukko 1. Pulttien myötörajojen  $f_{yb}$  ja vetomurtolujuuksien  $f_{ub}$  nimellisarvot. (12 s. 21)**

Pultin lujuusluokka	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	240	320	300	400	480	640	900
$f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )	400	400	500	500	600	800	1000

### 3.3.4 Tappivaarnat

Tappivaarnat ovat pitkulaisia sileitä tai uritettuja liittimiä, joissa ei ole kantoja tai pulttien tapaan ankkuroivia osia. Tappivaarnoille sovelletaan liitintäisyyksiä lukuun ottamatta samoja mitoitusohjeita kuin pulteille. Tappivaarnoilla ei myöskään oleteta olevan aksiaalista kestävyttä. Tappivaarnan geometria määritellään liittimen paksuutena ja pituutena.

### 3.3.5 Materiaali

Toisin kuin puu, teräs on isotrooppinen materiaali, joten sen lujuusominaisuudet ovat samat kaikissa suunnissa. Teräs on plastisoituva materiaali, joka myötää kuormituksen alla. Plastisoituvalla materiaalilla on myötöalue, jossa materiaalin jännitykset eivät kasva lineaarisesti vaikka kappaleen kuormitusta lisättäisiin. Myötöalueen jälkeen jännitys lähtee jälleen kasvuun, kunnes saavutetaan lopullinen murto. (13 s. 57) Metallisille liittimille ominainen myötökäyttäytyminen tulee huomioida liitosmitoituksessa.

Liitoksissa käytettävien liittimien valmistuksessa voidaan käyttää erilaisia teräslaatuja, mutta niiden mekaanisten ominaisuuksien tulee täyttää standardissa EN 14592 annetut määräykset. Liittimiä voidaan valmistaa esimerkiksi seostamattomasta tai austeniittisesta ruostumattomasta teräksestä, niukkahiilisestä teräksestä tai hiiliteräksestä. Naulat tulee valmistaa teräksestä, josta vedetyn langan vetolujuus on vähintään 600 N/mm<sup>2</sup>. Myös liittimen korroosionkestokykyyn on kiinnitettävä huomioita. (11 ss. 10, 15, 17)

### 3.3.6 Esiporaus

Liitoksen mitoituksessa on huomioitava liittimien esiporaus. Esiporauksen avulla voidaan vähentää puuosan halkeilua liittimiä asennettaessa. Esiporaukselle on esitetty vaatimuksia sekä esiporauksen tarpeeseen liittyen (nauloilla ja ruuveilla) että esiporauksen halkaisijalle.

Nauloilla esiporauksen tarve riippuu liittimen paksuudesta, liittyvien puuosien paksuudesta ja liittyvän puuosan materiaalista. Paksuille yli 6 mm nauloille tulee aina esiporata reiät. Esiporaus on tehtävä myös, jos puuosien paksuus ei täytä standardissa annettuja liittimen paksuudesta ja puulajin tiheydestä riippuvia raja-arvoja. Erityisen herkästi halkeaville puumateriaaleille on määritelty omat raja-arvonsa. Tällaisia puumateriaaleja ovat muun muassa saksanjalokuusi (*abies alba*), douglaskuusi (*pseudotsuga menziesii*) ja tavallinen kuusi (*picea abies*). Ruuveilla esiporauksen tarve riippuu liittimen paksuudesta ja liittyvän puuosan materiaalista. Nauloilla esiporauksen halkaisija saa olla korkeintaan 80 % naulan halkaisijasta. Ruuveilla esiporaus tehdään erikseen varren sileälle osalle ja ruuvin kierteiselle osalle. Sileälle osalle porataan sileän



osan halkaisijan kokoinen reikä ja kierteiselle osalle reikä, joka on noin 70 % varren halkaisijasta. Itseporautuvilla ruuveilla esiporauksen halkaisija saa olla korkeintaan kierteen sisähalkaisija.

Pulteille ja tappivaarnoille esiporataan aina reiät. Pultin reikä saa olla enintään 1 mm pultin halkaisijaa suurempi ja tappivaarnan reiän halkaisijan tulee olla korkeintaan tappivaarnan halkaisijan suuruinen. (8 ss. 95-96)

### **3.4 Levyt**

Puurakenteiden puikkoliitoksissa voidaan käyttää metallisia teräslevyjä tai erilaisia puulevyjä liitososina. Myös liitoksen levyt on mitoitettava liitoksia mitoitettaessa. Liitoksen kestävyys vaikuttaa tässä tapauksessa muun muassa levyn laatu ja paksuus.

Metallisia ja puisia levyjä käytetään yksi- tai kaksileikkisissä liitoksissa joko sivukappaleina tai liitoksen keskikappaleena. Metallilevyt luokitellaan joko ohuiksi tai paksuiksi levyiksi riippuen levyn paksuuden ja käytettävän liittimen halkaisijan suhteesta. Puulevyt voivat olla vaneria, kovaa kuitulevyä, tavallista lastulevyä tai OSB-lastulevyä.

### **3.5 Liitinryhmät**

#### **3.5.1 Liitinten sijoittelu**

Liitoksen suunnittelussa on huomioitava myös liitinten sijoittelu. Liian lähekkäin asetettavat liittimet saattavat aiheuttaa puuosan halkeilua, jolloin liitoksen kapasiteetti saattaa laskea oletettua alemmaksi. (8 s. 50)

Eri liittimille on annettu Eurokoodi 5 -standardissa vähimmäisarvot liitinten välisille etäisyyksille ja reunimmaisten liitinten etäisyyksille kappaleiden reunoista. Liitinvälien sekä reuna- ja päätyetäisyyksien vähimmäisarvot riippuvat liitinten paksuudesta ja puuosan syysuunnan ja kuormituksen välisestä kulmasta. (8 ss. 58, 65, 67, 68)

#### **3.5.2 Liitinten tehollinen määrä**

Puikkoliitosteorian mukaisessa liitosmitoituksessa on huomioitava, että samanlaisista liittimistä koostuvien liitinryhmien kestävyys ei välttämättä ole yhtä suuri kuin yksittäisten liittimien summa. Erityisesti syysuuntaisten liitinrivien tehollista määrää on usein pienennettävä, sillä liitinten sijoittaminen lähekkäin syysuunnassa peräkkäin lisää puun halkeilua. (8 s. 50) Naulat ja ohuet ruuvit voidaan lomittaa. Jos peräkkäiset liittimet ovat liittimen halkaisijan verran sivussa syysuunnasta, ei tehollista liittimien määrää tarvitse pienentää.

Tehollisten liittimien määrä riippuu liittimen paksuudesta ja liittimien välisistä etäisyyksistä. Ohuilla liittimillä ja suurilla liittimien välisillä etäisyyksillä tehollisten ruuvien määrä on suurempi, kuin paksuilla liittimillä tai pienillä liitinväleillä. (8 ss. 56-57, 65)

#### **3.5.3 Liitinryhmän jäyhyysmomentti**

Liitinryhmän muoto ja liitinten määrä määrittelee liitinryhmän jäyhyysmomentin  $I$ . Liitinryhmä, jolla on suuri jäyhyysmomentti, vastustaa liitinryhmään momentista aiheutuvaa vääntöä paremmin, kuin liitinryhmä, jonka jäyhyysmomentti on pienempi, jolloin yksittäiselle liittimelle momentista tuleva kuormitus on pienempi. Liitinryhmän

jäyhyysmomentin suuruus vaikuttaa siis osaltaan liitoksen kykyyn ottaa vastaan kuormaa.

Liitinryhmän jäyhyysmomentti lasketaan summana liitinten etäisyyksien neliöistä liitinryhmän painopisteeseen (14 s. 204). Jos liitinvälejä kasvatetaan, kasvaa myös liitinten etäisyys liitinryhmän painopisteestä, jolloin koko liitinryhmän jäyhyysmomentti suurenee.

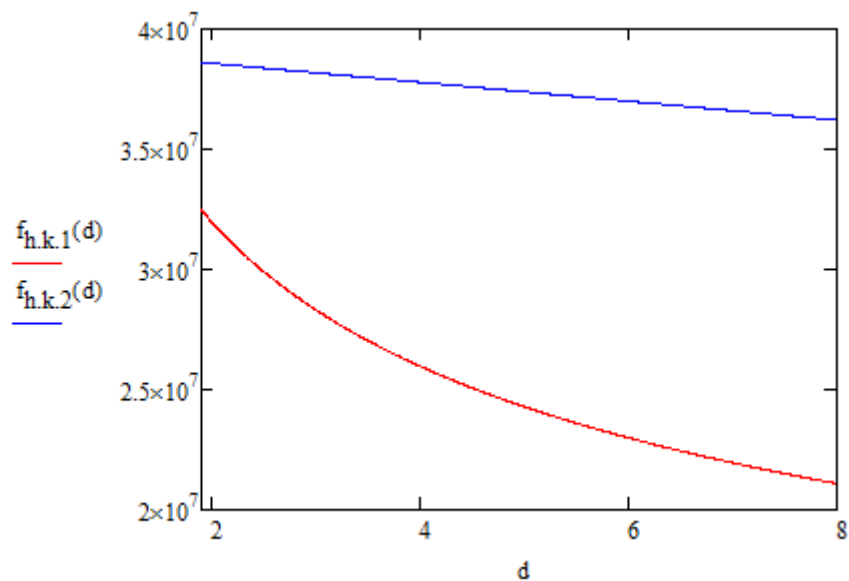
### 3.6 Puikkoliitosten murtotavat

#### 3.6.1 Reunapuristuskestävyys ja puuosan murtuminen

Puuosan halkeaminen johtuu liittimen puuosaan johtaman kuormituksen aiheuttamasta paineesta. Puuosan kestävyys arvioidaan puuosan paksuuden, liittimen halkaisijan ja puun reunapuristuslujuuden perusteella.

Reunapuristuskestävyys kuvaa puun kestävyyttä liittimen aiheuttamaa painetta vastaan. Puikkoliitosten mitoituksessa puumateriaalin reunapuristuslujuus määritetään puun tiheydestä ja käytettävän liittimen paksuudesta. Jos reunapuristuskestävyys ei ole tarpeeksi suuri, tapahtuu liitosalueen murto liittimen kohdalla puussa joko halkeamana tai painumana.

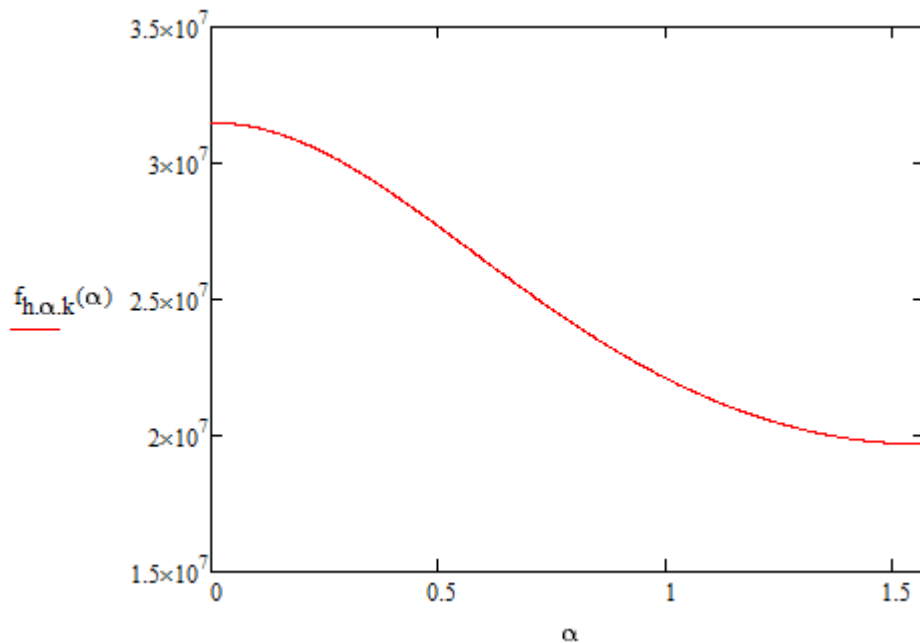
Reunapuristuslujuus on suurempi tiheillä puumateriaaleilla ja käytettäessä ohuita liittimiä. Kuvassa 10 on esitetty Kerto-S:n reunapuristuslujuuden  $[N/mm^2]$  arvot standardin EN 14592 määrittelemillä naulan halkaisijan arvoilla  $1,9 \text{ mm} \leq d \leq 8,0 \text{ mm}$ . Kerto-S:n tiheys on  $480 \text{ kg/m}^3$ .



Kuva 10. Naulan halkaisijan  $d$  [mm] vaikutus Kerto-S:n reunapuristuslujuuteen  $[N/mm^2]$ , kun naulan reikiä ei ole esiporattu ( $f_{h,k,1}$ ) ja kun naulan reiät on esiporattu ( $f_{h,k,2}$ )

Pulteilla, tappivaarnoilla ja ruuveilla joiden tehollinen halkaisija on suurempi kuin 6 mm, myös liitoksen kohdistuvan kuorman ja syysuunnan välisellä kulmalla  $\alpha$  on merkitystä reunapuristuslujuuden suuruuteen. Reunapuristuslujuus on suurin puuosan syysuunnassa. Kuvassa 11 on esitetty kuorman ja syysuunnan välisen kulman ( $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ ) vaikutus reunapuristuslujuuteen Kerto-S-kappaleessa, kun liittimen halkaisija on 20 mm. Reunapuristuslujuus riippuu myös kertoimesta  $k_{90}$ , jolla huomioidaan eri puulajien

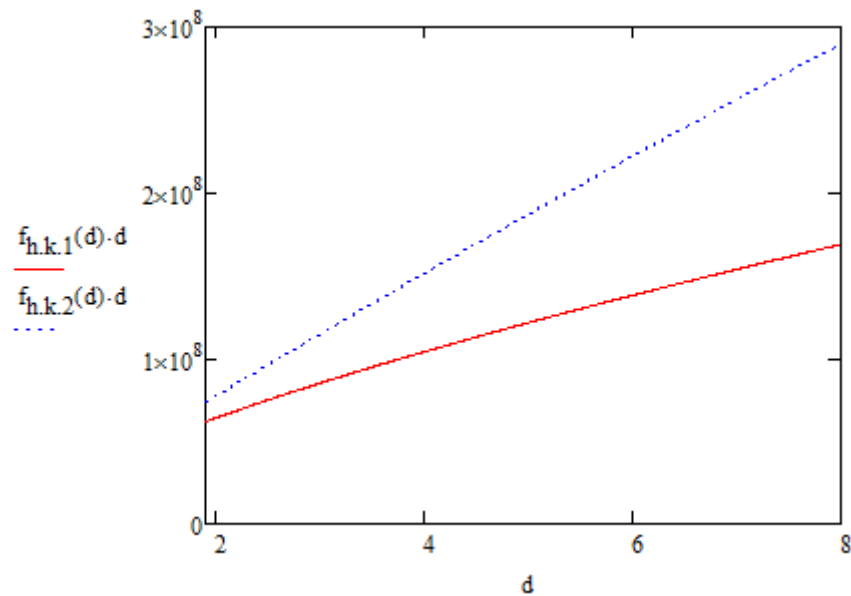
reunapuristuslujuusominaisuudet. Havupuulle saadaan tätä kerrointa käyttämällä suurempia reunapuristuslujuuden arvoja kuin lehtipuulle.



**Kuva 11. Pultin reunapuristuslujuus  $f_{h,\alpha,k}$  [N/mm<sup>2</sup>] kulman  $\alpha$  [rad] funktiona välillä  $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$**

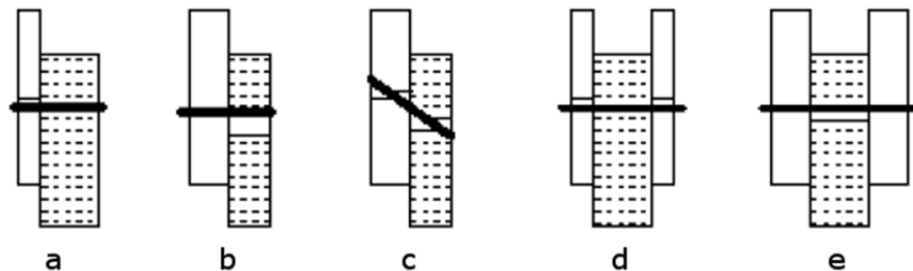
Kerto-S-tuotteille käytetään reunapuristuslujuuden määrittämiseen samoja kaavoja kuin sahatavaralle, sillä laskennallisten reunapuristuslujuuksien on kokeellisesti todettu olevan varmalla puolella (15 s. 3). Kerto-Q-tuotteilla vastaavissa kokeissa todettiin esiporaamattomilla nauloilla Kerto-Q:n kokeellisen reunapuristuslujuuden olevan selvästi laskennallista reunapuristuslujuutta korkeampi. Pulteilla Kerto-Q:lle saatiin hieman laskennallista arvoa alhaisemmat kokeelliset reunapuristuslujuudet syysuunnassa. Syysuunnasta poikkeavissa kuormitussuunnissa Kerto-Q-tuotteiden reunapuristuslujuus oli kuitenkin selvästi korkeampi, kun syysuunnan ja kuormituksen välinen kulma kasvoi 90 asteeseen. (16 ss. 3-6) Molemmat tulokset johtuvat Kerto-Q-tuotteissa olevista syysuunnaltaan poikittaisista viilukerroksista. Kerto-Q-tuotteille on esitetty poikkeavat reunapuristuslujuuden määrittystavat VTT-sertifikaatissa Nro VTT-C-184-03 (5 s. 20).

Edellä todettiin puun reunapuristuslujuuden laskevan liittimen halkaisijan kasvaessa. Kuvassa 12 on esitetty liittimen halkaisijan  $d$  vaikutus reunapuristuslujuuden ja liittimen halkaisijan tuloon. Täten vaikka reunapuristuslujuus pienenee paksuilla liittimillä, liitoksen kestävyys kuitenkin paranee.



Kuva 12. Reunapuristuslujuuden  $f_{h,k}$  [N/mm<sup>2</sup>] ja liittimen halkaisijan  $d$  [mm] tulo

Reunapuristuslujuuden ja liittimen halkaisijan lisäksi puuosan murtoon vaikuttaa vielä puuosan paksuus, jota kasvattamalla voidaan kasvattaa myös puun murtokestävyyttä. Liitoksissa, joissa liitososat ja liittimet ovat paksuja ja puuosien reunapuristuslujuudet ovat suuret, on puuosien kestävyys siis suurempi. Puuosan murto voi tapahtua joko itsenäisesti tai yhdistettynä liittimen murtoon. Kuvassa 13 on esitetty yksi- ja kaksileikkeisten leikkausliitosten puhtaasti puuosien murrosta johtuvia murtotapoja.

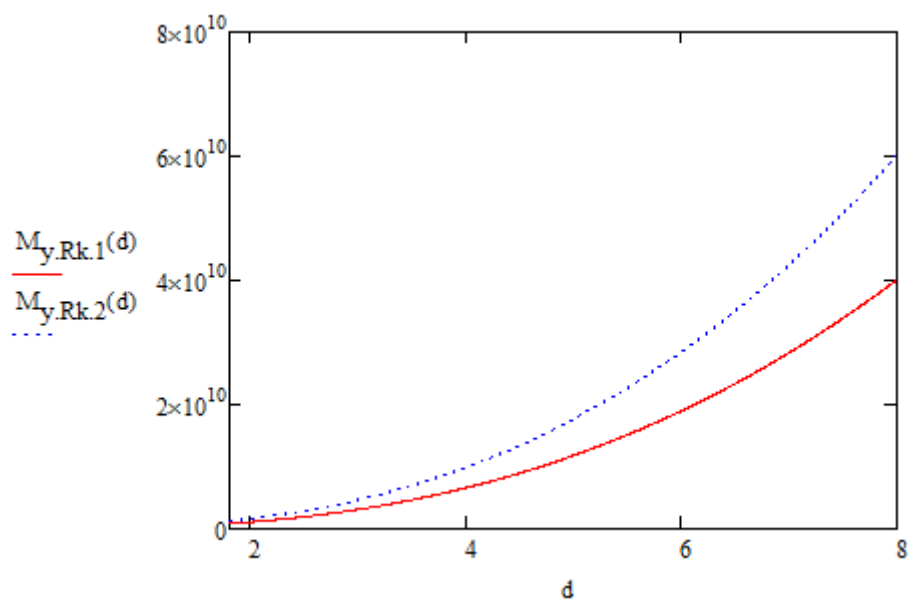


Kuva 13. Yksi- ja kaksileikkeisten leikkausliitosten puun murtotapauksia (8 s. 53)

Kuvassa 13 murtotavoissa a, b, d ja e liittoksen murto tapahtuu pelkästään puuosien kestävyuden perusteella. Murtotavassa c molemmat puuosat murtuvat samanaikaisesti, mutta liitin ei myötää eikä murru. Tässä tapauksessa huomioidaan kuitenkin myös liittimen kapasiteettia aksiaalisen kestävyuden kautta kasvattava köysivaikutus, koska liittimen kääntyessä sen ja puuosien välinen kitka vaikuttaa liittoksen leikkauskestävyyteen.

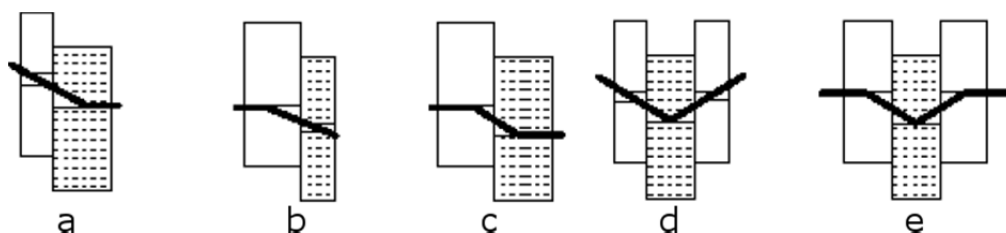
### 3.6.2 Liittimen myötääminen tai murtuminen

Metallisten liittimien oletetaan myötävän leikkaus- ja vetorasituksessa ennen lopullista murtoa. Liittimen kestävyuden määrittää sen myötömomentti. Liittimen myötömomentti riippuu liittimen teräksen lujuudesta ja liittimen paksuudesta. Korkeilla teräslujuuksilla ja paksuilla liittimillä saavutetaan korkeimmat myötömomentit. Myötömomentit vaihtelevat myös hieman erimuotoisten liittimien välillä. Kuvassa 14 on esitetty myötömomentin laskennalliset arvojen riippuvuus halkaisijasta sileille pyöreille nauloille ja sileille neliskulmaisille tai pitkittäin uritetuille nauloille.



Kuva 14. Myötömomenttien [Nmm] arvot pyöreillä nauloilla ( $M_{y.Rk.1}(d)$ ) ja nelikulmaisilla nauloilla ( $M_{y.Rk.2}(d)$ ), kun naulan halkaisija tai sivun pituus  $d$  vaihtelee välillä 1,8...8 mm.

Puikkoliitosteoriassa ei kuitenkaan esitetä pelkästään liittimen kestävyyspettämistä johtuvia murtotapoja vaan liittimien murtuessa murtuu myös puuosa. Puuosat siis tukevat liittintä, joten liittimen muodonmuutos vaatii aina myös ympäröivän puun murtoa. Liittimen myötömomentin lisäksi on siis aina tarkastettava myös puuosien kestävyys. Kuvassa 15 on esitetty liittimien ja puuosien yhdistettyjä murtomenetelmiä.



Kuva 15. Liittimen ja puuosien yhdistetyt murtomenetelmät

Kuvassa 15 murtotavoissa a, b, c kyseessä on yksileikkeisten liittosten murto ja murtotavoissa d ja e kaksileikkeisten liittosten murto. Kaksileikkeisten liittosten murroissa oletetaan, että reunimmaisten puuosien kuormitus on samansuuntainen. Kaikissa murtotavoissa sekä liittimet että puuosat murtuvat.

### 3.6.3 Murtotapojen sitkeys

Rakenteen turvallisuuden puolesta sitkeät murtumat ovat edullisempia kuin hauraat murtumat. Sitkeän liittoksen murtumaa edeltävät suuret muodonmuutokset, joista voidaan ennakoida liittoksen murtumista. Näin korjaavia toimenpiteitä voidaan suorittaa esimerkiksi ennen rakenteen romahtamista seuraavia henkilövahinkoja. Sitkeän liittoksen avulla voidaan myös jakaa rakenteeseen kohdistuvia voimia uudelleen eri rakenneosille, jolloin rakenteen kestävyys saattaa parantua. Sitkeä rakenne on hyödyksi myös dynaamisesta kuormituksesta (esimerkiksi maanjäristys) vastaan, sillä sitkeys mahdollistaa rakenteeseen kohdistuvan liike-energian sitomisen. Rakenteen sitkeys ehkäisee myös jatkuvaa sortumaa. (17 s. 2988)

Puuliitosten sitkeys voidaan karkeasti määritellä murtotapojen perusteella. Puun halkeaminen tai murtuminen on yleensä hauras murtuma, jossa murtuma tapahtuu äkillisesti ja liitoksen voidaan katsoa menettävän kestävyytensä hyvin lyhyellä aikavälillä. Liittimen myötääminen tekee liittimien murtumisesta sitkeän, jolloin liitoksen murtuminen voidaan ennustaa murtumista edeltävistä huomattavista muodonmuutoksista. Jos liitokseen kohdistetaan huomattavasti sen kapasiteettia suurempi kuorma, tapahtuu liittimenkin murto niin nopeasti, että liittimien murtuminen voidaan mieltää hauraaksi murtumaksi. Puurakenteiden suunnittelussa tulisi siis pyrkiä siihen, etteivät puuosat ole liian kapeita, jotta välttyttäisiin tilanteilta, joissa liitoksen murto tapahtuu vain puuosissa.

### 3.7 Puikkoliitosten mitoitusperiaatteet

Puikkoliitosten mitoituksessa noudatetaan samoja luotettavuuteen ja varmuuteen liittyviä sääntöjä kuin muussakin eurokoodistandardien mukaisessa mitoituksessa. Varmuuden osoitus tehdään osavarmuuslukumenetelmällä ja rajatilamitoituksella.

#### 3.7.1 Osavarmuuslukumenetelmä

Osavarmuuslukumenetelmällä pyritään osoittamaan, ettei mitoituksessa käytettäviä rajatiloja ylitetä missään tapauksessa. Osavarmuuslukumenetelmän pohjana ovat varmuusluvut, joilla kuormien ja kestävyyksien ominaisarvoja muokataan mitoitusarvoiksi. Osavarmuuslukumenetelmää käytetään myös liitosten mitoituksessa. Liitosmitoituksessa täytyy siis käyttää kuormien mitoitusarvoja, joissa on osavarmuuslukujen avulla otettu huomioon epäedullinen poikkeaminen kuorman edustavista arvoista sekä epävarmuudet kuormien ja niiden vaikutusten mallintamisessa. Liitokseen kestävyysarvoja muokataan osavarmuuskertoimilla, jotta muun muassa kosteuden, lämpötilan ja kuormituksen kestoajan vaikutukset sekä materiaaliominaisuuksien poikkeaminen epäedulliseen suuntaan tulevat mitoituksessa huomioituksi.

Puurakenteiden liitoksien mitoituksessa käytetään siis samoja aikavaikutuskertoimia ja materiaalin osavarmuuslukukertoimia, kuin muussakin puurakenteiden mitoituksessa. Aikavaikutuskertoimella  $k_{mod}$  otetaan huomioon kuorman keston ja vallitsevien kosteusolojen vaikutus liitoksen kestävyysarvoon. Kertoimen  $k_{mod}$  arvo riippuu liitoksessa käytettävästä puumateriaalista, kuorman aikaluokasta ja rakenteen käyttöluokasta. Materiaalikohtaisen osavarmuusluvun  $\gamma_M$  avulla huomioidaan materiaalin jäykkyys- ja kestävyysominaisuuksien mahdollinen epäedullinen poikkeaminen ominaisarvoista. Molemmilla kertoimilla pienennetään kestävyysarvoa, jolloin saatavalla mitoitusarvolla pyritään varmistamaan liitoksen luotettavuus.

#### 3.7.2 Rajatilamitoitus

Mitoitustapaukset jaotellaan murtorajatilamitoitukseen ja käyttörajatilamitoitukseen. Murtorajatilamitoituksessa mitoitetaan rakenteen turvallisuuteen ja varmuuteen liittyvät mitoitustapaukset. Murtorajatilamitoituksessa pyritään siis turvalliseen rakenteeseen, joka kestää murtumatta sille kohdistuvan kuormituksen. Käyttörajatilamitoitus tähtää rakennuksen käyttömukavuuden ja estetiikan säilyttämiseen. Käyttörajatilamitoituksen kriteerinä voi olla esimerkiksi rakenteen siirtymä tai värähtely.

Liitoksissa murtorajatilamitoituksella pyritään ehkäisemään puuosien halkeaminen ja liittimien voimakas taipuminen. Käyttörajatilamitoituksessa pyritään mitoittamaan

liitoksen liitossiirtymä niin, ettei liitoksessa tapahdu merkittävää liikettä vaikka varsinaista murtoa ei tapahdukaan.

### 3.7.3 Leikkausrasitetut liittimet

Liitinten leikkauskestävyys mitoitetaan liitoksen eri murtotapoihin pohjautuvien lausekkeiden mukaisesti. Kaikkien liitintyyppien puikkoliitosteorian mukaisessa leikkauskestävyyden mitoituksessa käytetään samoja lausekkeitä kestävyiden ominaisarvon laskentaan. Liittimien väliset erot syntyvät liittimien reunapuristuslujuuksien ja myötömomenttien ominaisarvojen eroista.

Liitostyyppien välillä on liitoksen leikkauskestävyyden mitoituksessa eroja, sillä metallilevyjä sisältävät liitokset käyttäytyvät erilailla kuin vain puuosia sisältävät tai puuosan ja puulevyn väliset liitokset. Vaikka metallilevyn kestävyys liitoksessa tulee tarkistaa, ei metallilevyn murtumista huomioda metallilevyllisten liitosten leikkauskestävyyden lausekkeissa. Tällöin murtomekanismit yksileikkeisessä liitoksessa ovat puuosan murtuminen ja liittimen myötääminen tai näiden yhdistelmä. Kaksileikkeisessä liitoksessa liitoksen puuosien oletetaan olevan samaa puumateriaalia ja saman paksuiset, jolloin puuosien murto on yhtäaikaista, jos murto tapahtuu puussa. Puuosien ja puulevyjen liitoksissa murto voi tapahtua kummassakin levyssä samanaikaisesti myös yksileikkeisissä liitoksissa.

Murtotapauksissa, joissa metalliliittimet myötäävät murrossa, voidaan liittimen leikkauskestävyyttä kasvattaa huomioimalla liittimen köysivaikutus. Köysivaikutus on liittimen myötäämistä vastustava ominaisuus, joka johtuu liittimen aksiaalisesta kestävydestä sekä liittimen ja liitososien välisestä kitkasta. Köysivaikutuksen osuutta liittimen leikkauskestävyydestä on kuitenkin syytä rajoittaa käytetystä liittimestä riippuen. Köysivaikutus huomioimalla voidaan leikkauskestävyyttä kasvattaa korkeintaan seuraavasti (8 ss. 52-53):

- Pyöreillä nauloilla 15 %
- Nelikulmaisilla nauloilla ja uranauloilla 25 %
- Muilla nauloilla 50 %
- Ruuveilla 100 %
- Pulteilla 25 %
- Tappivaarnoilla 0 %

Esimerkiksi ruuveilla voidaan aksiaalisen kestävyden ja kierteistä johtuvan kitkan olettaa olevan niin suuria, että köysivaikutuksen osuus leikkauskestävyydestä voidaan olettaa enintään yhtä suureksi kuin puikkoliitosteorian mukainen poikittaiskestävyys. Tappivaarnaliitoksilla ei oleteta olevan ollenkaan aksiaalista kestävyttä tai riittävää kitkaa, jotta köysivaikutuksen voitaisiin olettaa kasvattavan leikkauskestävyyttä.

### 3.7.4 Vetorasitetut liittimet

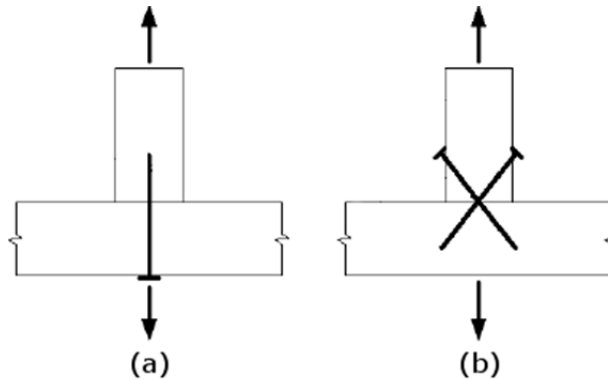
Liittimen toiminta vetorasituksessa riippuu liittimen varren profiloinnista, liittimen kannasta ja sen kestävydestä sekä liittimen omasta vetolujuudesta. Liittimien kärjenpuoleisen ulosvetolujuuden ominaisarvo  $f_{ax,k}$  kuvaa liittimen kärjen puoleisen osan irtoamista kärjenpuoleisesta puusta. Vetomurto voi tapahtua myös kannanpuoleisessa puussa, jolloin liittimen kannanpuoleinen läpivetolujuuden ominaisarvo  $f_{head,k}$  määrittää liittimen kestävyden tilanteessa, jossa liitin kantoineen murtuu liittimen kannanpuoleisen puuosan läpi. Ulosvetolujuuden- ja läpivetolujuuden lisäksi liittimillä tulee tarkastaa liittimen vetokestävyys, joka määritetään joko liittimen varren vetokestävyysnä tai liittimen kannan irtoamiskestävyysnä.

Sileiden naulojen käyttöä vetorasitettuina on vältettävä eikä niitä voida käyttää tapauksissa, joissa kuormitus on pysyvää tai pitkäaikaista. Profiloituilla nautoilla vetorasitus tulee mitoittaa vain naulan profiloitulle osalle. Ruuvit soveltuvat kierteisen rakenteensa vuoksi nautoja paremmin vetorasitusta vastaanottaviksi liittimiksi, sillä kierteteet luovat suuremman kitkan liittimen ja puun välille.

Pultit lävistävät kaikki liitoksen puu- ja metallisosat. Pulteilla ei ole nautoihin tai ruuveihin verrattavaa ulosvetokestävyyttä vaan niiden pitkittäinen kestävyys määritetään pienempänä pultin vetokestävyydestä tai pultin mutterin alla olevan aluslaatan tai metallilevyn kestävydestä. Tappivaarnalla ei oleteta olevan pitkittäistä kestävyttä. (8 s. 66)

### 3.7.5 Leikkaus- ja vetorasitetut liittimet

Naulat, ruuvit ja pultit voivat ottaa vastaan myös samanaikaista leikkaus- ja vetorasitusta esimerkiksi vinonaulauksessa (kuva 16). Tällöin yhdistellään liittimen poikittainen ja pitkittäinen mitoitus niin, että seuraavassa esitetyt mitoitus ehdot täyttyvät. (8 s. 62)



Kuva 16. (a) Vetorasituttu naulaus ja (b) vinonaulaus, jossa liittimeen kohdistuu leikkaus- ja vetorasitusta (8 s. 62)

Mitoituksessa käytetään liittimeen kohdistuvan kuorman liittimen akselin suuntaista kuormakomponenttia  $F_{ax,Ed}$  ja liittintä kohtaan poikittaista kuormakomponenttia  $F_{v,Ed}$ . Sileille nautoille käytetään aksiaalisen kestävyuden ja leikkauskestävyyden yhdistelmää:

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \quad \text{EC5: (8.27)}$$

Muilla kuin sileille nautoille sekä ruuveille ja pulteille käytetään aksiaalisen kestävyuden ja leikkauskestävyyden neliöiden yhdistelmää:

$$\left( \frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad \text{EC5: (8.28)}$$

### 3.7.6 Liitoksen halkeamiskestävyys

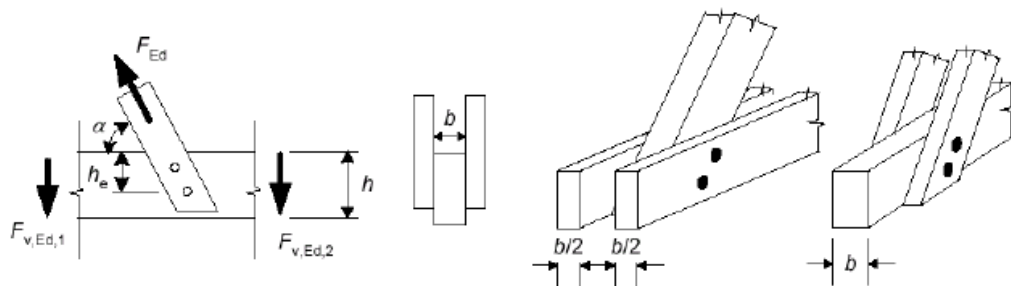
Puun syyrakenteen vuoksi sen syysuuntaan kohtisuora poikittainen vetolujuus on yleensä huomattavasti syysuuntaista vetolujuutta alempi. Tämän vuoksi puurakenteet ovat erityisen herkkiä halkeamaan syysuuntaa vastaan kohtisuoran kuormituksen vuoksi. Liitoksen halkeamiskestävyys tulee siksi tarkastaa erikseen.

Sahatavaran, liimapuun ja LVL:n, jossa kaikki viilut ovat samansuuntaisia, poikittaiset vetolujuudet ovat alhaisia. Sahatavaran ja liimapuun lujuusluokissa C14-C40 ja GL24c-



GL32h sekä Kerto-S-tuotteille poikittaiset vetolujuudet ovat välillä 0,35–0,6 N/mm<sup>2</sup>. Vertailun vuoksi syysuuntaiset vetolujuudet ovat välillä 8–35 N/mm<sup>2</sup>. (9 ss. 47, 48, 50) Tämän vuoksi puisten puikkoliitosten halkeamiskestävyyden tarkastelussa puumateriaalin lujuus on liitoksen geometriaan verrattuna vähäpätöinen seikka.

Puikkoliittimillä toteutetuissa liitoksissa liitoksen halkeamiskestävyys on tarkasteltavan puusauvan paksuudesta, korkeudesta ja kuormitetusta puun reunasta kauimmaisena sijaitsevan liittimen sijainnista riippuva suure. Halkeamiskestävyyden suuruus kasvaa paksuissa puuosissa, sekä silloin, kun kuormittamattoman reunan ja liittimen välinen etäisyys kasvaa. Kuvassa 17 on esitetty liitoksen halkeamisen periaate syysuuntaa vastaan kohtisuoran kuormituksen vuoksi ja mitoituksessa tarvittavat geometriset suuret. (8 ss. 50–51)

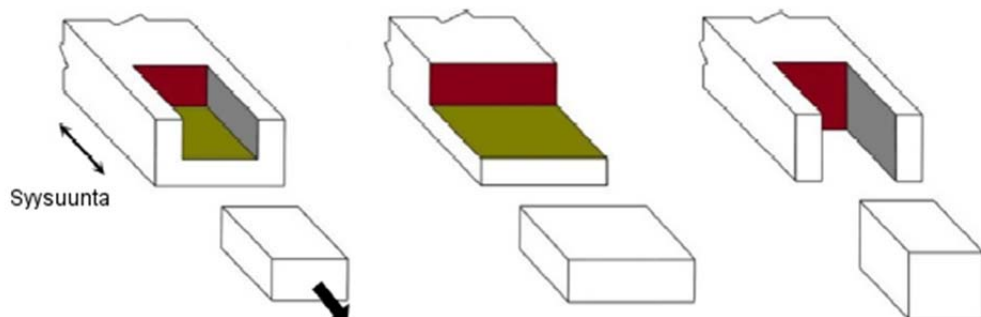


Kuva 17. Liitoksen halkeaminen syysuuntaa vastaan kohtisuoran kuormituksen vuoksi (8 s. 51)

Kerto-Q-tuotteiden poikittaiset viilut kasvattavat Kerto-Q:n poikittaista vetolujuutta huomattavasti 6 N/mm<sup>2</sup>:een. Poikittaisista viiluista johtuvan suuren poikittaisen vetolujuuden vuoksi halkeamismurtumaa ei oleteta tapahtuvan Kerto-Q-tuotteilla lapeliitoksissa. (5 ss. 3,6,18)

### 3.7.7 Liitoksen lohkeamismurtokestävyys

Lohkeamismurrossa koko liitosalue murtuu irti sauvan päästä syysuuntaisen vetovoiman vuoksi. Lohkeamismurtokestävyys tulisi tarkistaa aina, kun liitosalue sijoittuu lähelle sauvan päätä ja sauvassa vaikuttaa sauvan syysuuntainen voima. Puikkoliitosteorian mukaisessa liitosmitoituksessa lohkeamismurtokestävyys voidaan jakaa kahteen tyyppiin. Palalohkeamista, jossa puuosasta murtuu vain osa, esiintyy yleensä metallilevyllisissä liitoksissa, joissa liittimet eivät ulotu puuosan läpi. Läpilohkeamisessa liittimet ulottuvat koko puuosan läpi, jolloin myös murto ulottuu koko puuosan läpi. Kuvassa 18 on esitetty lohkeamismurron eri tyypit.



Kuva 18. Lohkeamismurtotavat: (a) ja (b) palalohkeaminen (c) läpilohkeaminen (18 s. 84)

Ohjeita liitoksen lohkeamismurtokestävyyteen annetaan Eurokoodi 5 -standardin kohdissa 8.1.2(4)–(5) ja 8.5.1.1(4) sekä liitteessä A. Standardissa esitettyä

lohkeamismurtokestävyyden menetelmää voidaan Suomessa soveltaa myös puu-puu-liitoksen lohkeamismurtokestävyyden laskentaan noudattamalla kansallisessa liitteessä esitettyjä lisäohjeita (19 s. 6). Kerto-tuotteiden liitoksille esitetään VTT:n sertifikaatti NRO VTT-C-184-03 korvaavat menetelmät (yksinkertaistettu ja yleinen) liitosalueen lohkeamismurtokestävyyden laskentaan.

### 3.7.8 Liitossiirtymä

Liitossiirtymällä tarkoitetaan liitoksen kappaleiden liikettä kuormituksen vaikutuksesta käyttörajatilassa eli liitoksessa tapahtuvaa muodonmuutosta, jolla ei ole vaikutusta liitoksen kestävyYTEEN. Liitossiirtymä voi aiheuttaa rakenteen käytettävyyteen liittyviä muutoksia, kuten esimerkiksi pintarakenteiden repeytymistä ja rakennuksen tasojen epätasaisuutta. Liitossiirtymän mekanismit ovat vastaavat kuin varsinaisissa murtotapauksissa, mutta liittimien painumat puuhun ja muodonmuutokset jäävät niin vähäisiksi, ettei liitosta voida mieltää murtuneeksi.

Liitossiirtymään liittyvä siirtymäkerroin  $K_{ser}$  riippuu puumateriaalin keskitiheydestä  $\rho_{mean}$  ja liittimen halkaisijasta  $d$ . Tiheyden ja liittimen halkaisijan kasvaessa kerroin  $K_{ser}$  kasvaa. Eri liitintyypeille on lisäksi määritetty hieman erilaiset kertoimet. (8 s. 47)

Lopullisen liitossiirtymän laskennassa käytetään käyttörajatilayhdistelmän mukaista kuormitusta. Liitossiirtymä määritetään jakamalla kuormitus siirtymäkertoimella  $K_{ser}$ . Siirtymäkerroin lasketaan puikkoliitosteorian mukaisesti yhden liittimelle yhdessä leikkeessä, joten kerrointa on kerrottava vielä liitoksen leikkeiden määrällä ja liitoksen liittimien määrällä. (8 s. 47)

Liitossiirtymän suuruus riippuu siis liitosta rasittavasta kuormasta, puuosien tiheydestä sekä käytettävästä liittimestä ja sen halkaisijasta. Tiheät puulajit kestävät liittimistä aiheutuvaa painetta paremmin ja suuret liittimen halkaisijat jakavat kuormituksen suuremmalle puupinta-alalle, joten tiheyden ja liittimen halkaisijan kasvaessa liitossiirtymä pienenee.

Liitossiirtymälle lasketaan hetkellinen ja lopullinen liitossiirtymä, samoin kuin sauvarakenteille lasketaan taipuman hetkelliset ja lopulliset arvot. Lopullisessa liitossiirtymässä on huomioitava puun virumisesta johtuva puun jäykkyyden aleneminen kosteuden ja ajan vaikutuksesta.

### 3.7.9 Liitoksen kiertymäjäykkyys

Liitokset on perinteisesti ajateltu joko täysin jäykiksi tai nivellisiksi. Liitoksen jäykkyys vaikuttaa kuormien jakautumiseen liittyvissä rakenteissa, sillä momenttivoimien siirtyminen rakenteesta toiseen riippuu liitoksen jäykkyydestä. Liitosjäykkyyden arviointi väärin voi johtaa tilanteeseen, jossa joko liittimille tuleva rasitus tai kuormituksen jakautuminen liittyville rakenteille arvioidaan väärin, mikä voi pahimmillaan johtaa rakenteen kestävyYden aliarviointiin. Puurakenteiden puikkoliitoksille voidaan määrittää liitoksen kiertymäjäykkyys, jonka avulla voidaan liitoksen käyttäytymistä momenttirasituksessa määrittää tarkemmin. Tällaisen tarkastelun perusteella voidaan liitos olettaa puolijäykäksi eli osittain momenttia siirtäväksi. (20 ss. 10-11)

Kiertymäjäykkyyden laskenta riippuu siitä tehdäänkö mitoitus kimmoteorian mukaisesti vai otetaanko mukaan liitoksen plastisoituminen. Kimmoteorian mukaisen kiertymäjäykkyyden mitoitus perustuu samaan siirtymäkertoimeen  $K_{ser}$ , kuin liitossiirtymän laskenta ja liittimien etäisyyksiin liitoksen kiertoakeskiöstä. Liitoksen

plastisoituessa sen kiertokeskiö liikkuu, joten kiertymäjäykkyyden arviointi on huomattavasti monimutkaisempaa.

Kiertymäjäykkyyden vaikutuksen arviointiin tarvitaan tarkempaa tietoa esimerkiksi liittyvien sauvojen pituuksista, joten liitosmitoitushjelmaan päätettiin toteuttaa ensimmäisessä julkaisuversiossa vain kimmoteorian mukainen kiertymäjäykkyyden ja hetkellisen kiertymän laskenta. Näin käyttäjälle saadaan liitoksesta alkuarvot, joiden perusteella käyttäjä voi arvioida liitoksen jäykkyyden vaikutusta rakenteen toimivuuteen muilla menetelmillä.

### 3.8 Maakohtaisten ohjeiden vaikutus laskentaan

Eurokoodistandardit ovat käytössä jo 30 Euroopan maassa. Eurokoodit luovat maille yhtenäisen rakenteiden mitoitusohjeistuksen. Maiden väliset erot esimerkiksi luonnonoloissa on huomioitu mahdollistamalla kansalliset poikkeamat muun muassa luonnonkuormien (lumi, tuuli ja jää) määrittelyssä. Eurokoodit eivät salli liitosmitoituksessa huomattavaa maakohtaista ohjeista poikkeamista. Liitosmitoituksen kannalta oleelliset poikkeamismahdollisuudet ovat perusmuuttujiin liittyvissä kertoimissa ja kolmessa suoraan liitosmitoitukseen liittyvässä kohdassa. (8 s. 9)

Rakenteiden suunnitteluperusteiden (EN 1990-1-1) ja rakenteiden kuormien (EN 1991-1-1) kansallisten valintojen vaikutus tulee huomioida myös liitosmitoituksessa. Kuormien ominaisarvot vaihtelevat kansallisesti, mutta jos liitosmitoitushjelmassa käytetään valmiiksi määritettyjä mitoituskuormia, ovat kansalliset kuormien ominaisarvot jo huomioitu.

Liitosmitoituksessa käytetään kestävyysmitoitussarvoja, jotka määritetään ominaisarvoista materiaalien osavarmuuskertoimien  $\gamma_M$  ja aikavaikutuskertoimien  $k_{mod}$  avulla. Osavarmuuskertoimien  $\gamma_M$  arvot voidaan määrittellä kansallisesti (8 s. 22). Aikavaikutuskertoimien  $k_{mod}$  kohdalla kansallinen määrittely ei ole suoraan mahdollista, mutta kerrointen arvot riippuvat kuormien kestoille määritellyistä aikaluokista ja rakenteelle määritetystä käyttöluokasta, joiden molempien määrittelyssä voidaan tehdä kansallisia valintoja (8 s. 20).

Eurokoodi tarjoaa kaksi vaihtoehtoa päätypuuhun lyötyjen naulojen tai ohuiden ruuvien käyttäytymisen määrittämiseen poikittaisessa kuormituksessa. Päätypuuhun lyötyjen naulojen ja ohuiden ruuvien poikittaiskestävyys voidaan jättää huomioimatta tai noudattaa näille erikseen kohdassa 8.3.1.2.(4) annettuja ohjeita ja rajoitteita (8 s. 57). Kansallisessa liitteessä voidaan määrittellä, kumpaa menetelmistä käytetään. Kansallisesti voidaan myös valita, ettei kohdan 8.3.1.2(7) sääntöä esiporauksesta erityisen herkästi halkeavista puulajeista koostuvissa liitoksissa sovelleta. Myös lohkeamismurron mitoittamiseen liittyen voidaan antaa Eurokoodi 5-standardin liitteen A menetelmään täydennyksiä. Suomessa on sallittu menetelmän käyttäminen myös puu-puuliitoksissa. (19 s. 6)

## **4 Tehokkaimman liitossijoittelun määrittäminen puikkoliitoksissa**

Liitosten mitoittaminen on aikaa vievä prosessi käsin laskettuna. Hyvillä esimerkiksi MathCAD- tai Excel-pohjaisilla laskentapohjilla voidaan nopeuttaa liittimien kapasiteetin laskentaa, mutta liitinsijoittelun geometrian arvioiminen ja erityisesti erilaisten liitinsijoitteluiden testaaminen käsinlaskentana on huomattavasti monimutkaisempaa ja työläämpää. Liitinsijoittelulla on kuitenkin merkittävä osa puuliitoksien kestävyudessa ja liitinsijoittelulla voidaan vaikuttaa puun halkeiluerkkyyteen usealla eri tavalla.

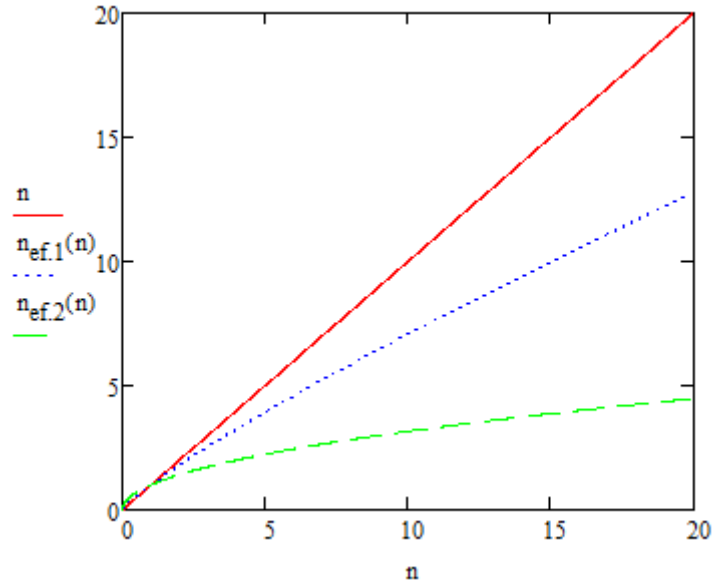
Tehokkaimman liitinsijoittelun etsimisen oletettiin liitosmitoitushjelman suunnitteluvaiheessa olevan toiminto, jonka avulla voidaan merkittävästi kasvattaa käyttäjälle ohjelmasta koituvaa hyötyä. Tietokoneiden laskentanopeus on huomattavasti käsin laskentaa nopeampaa, joten erilaisia liitinsijoittelun vaihtoehtoja voidaan käydä nopeammin läpi ja yrittää tunnistaa näistä se, jossa liitinsijoittelun avulla löydetään kaikkein kestävin ratkaisu liitokselle. Liitinsijoittelun optimoinnilla voidaan siis parhaimmissa tapauksissa vähentää tarvittavaa liitinten määrää suunnittelijan omaan arvioon verrattuna.

Tässä luvussa on käsitelty tarkemmin juuri liitinsijoittelun vaikutusta liitoksen kestävyys- ja liitinsijoittelun optimoinnin ohjelmoitavuutta. Optimointia voidaan tehdä myös monen muun parametrin perusteella. Muita optimointiparametreja on käsitelty luvun lopussa.

### **4.1 Liitinsijoittelun vaikutus liitoksen kestävyys- ja liitinten määrään**

#### **4.1.1 Tehollisten liitinten määrä**

Yleisesti oletetaan syysuuntaisessa rivissä olevien liitinten lisäävän puun halkeilua. Puikkoliitosteoriassa tätä vaikutusta varten lasketaan liitinten tehollinen määrä, kuten luvussa 3.5.2 on esitetty. Liitinsijoittelulla voidaan siis pyrkiä tilanteeseen, jossa liitinten tehollinen määrä on mahdollisimman suuri. Liittimiä lomittamalla voidaan ehkäistä puuosan halkeilua. Tällöin useammasta perättäisestä liittimestä koostuvissa liitoksissa, voidaan liittimien tehollisena määränä yleensä käyttää suoraan liittimien määrää, eikä erillisiä vähennyksiä tarvitse tehdä. (8 ss. 56-57) Kuvissa 19 ja 20 on vertailtu naulojen ja pulttien tehollisten liitinten määrää liittimien varsinaiseen määrään.



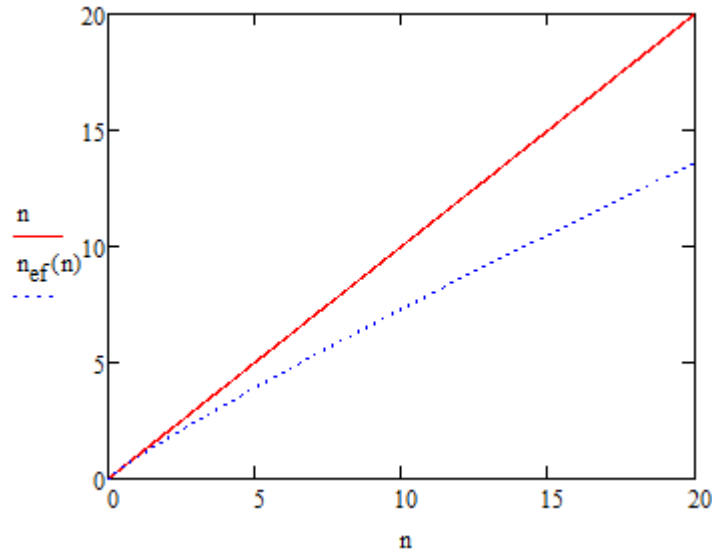
Kuva 19. Naulojen tehollinen määrä [kpl] syysuuntaisessa rivissä

Nauloilla liittimien tehollinen määrä riippuu pelkästään liittimien välisistä etäisyyksistä. Kuvassa 19 on esitetty liittimien varsinainen määrä  $n$  ja liittimien teholliset määrät  $n_{ef}$  kun liitinväli esiporattuna on  $10d$  ( $n_{ef,1}(n)$ ) ja liitinväli on  $4d$  ( $n_{ef,2}(n)$ ). Liitinten tehollinen määrä lasketaan korottamalla liitinten varsinainen määrä potenssiin  $k_{ef}$ . Potenssin  $k_{ef}$  arvo riippuu liittimien välistä. Esimerkiksi esiporattujen liitinten välin ollessa  $10d$ ,  $k_{ef}$  saa arvon 0,85 ja liitinten välillä  $4d$  arvon 0,5.

Pulteilla tehollisten liittimien määrittäminen on monimutkaisempaa. Suuret liitinvälit, puuosan paksuus ja pieni liittimen halkaisija kasvattavat tehollisten liittimien määrää. Kuvassa 20 on esitetty liittimien varsinainen määrä  $n$  ja tehollisten pulttien määrä, kun pultin halkaisija on 10 mm, liitinväli on 70 mm ja puuosan paksuus on 51 mm. Tehollisten liittimien laskennassa käytettävä kaava on (8 s. 65):

$$n_{ef} = \min \left\{ n, n^{0,94 \sqrt{\frac{a_1}{13d}}} \right\} \quad \text{EC5: (8.34)}$$

missä  $a_1$  on syysuuntainen pulttiväli  
 $d$  on pultin halkaisija  
 $n$  on samassa rivissä olevien pulttien määrä.

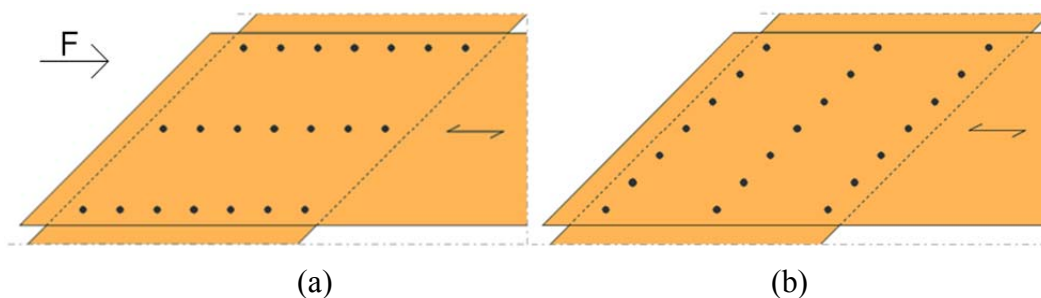


**Kuva 20. Pulttien tehollinen määrä [kpl] syysuuntaisessa rivissä**

Ruuvien ja tappivaarnojen teholliset määrät lasketaan samalla tavalla kuin pulttien, paitsi silloin, jos ruuvien tehollinen halkaisija on 6 mm tai pienempi. Tällöin ruuveille käytetään naulojen menetelmää. Liitinten tehollista määrää voi siis millä tahansa liitintyyppillä kasvattaa suurentamalla liitinten välisiä etäisyyksiä syysuuntaisessa rivissä.

Koska teholliset liittimet huomioidaan syysuuntaisissa riveissä, voidaan tehollisten liittimien määrään vaikuttaa myös valitsemalla liitinryhmän muoto niin, että puukappaleen syyn suuntaisia rivejä muodostuu mahdollisimman vähän. Liitoksissa, joissa vain yhteen puosaan kohdistuu syysuuntaista rasitusta, tämän optimointi on yksinkertaista. Tilanne muuttuu kuitenkin heti, jos liitoksessa on useampi erisuuntainen osa, joille kohdistuu syysuuntaista kuormitusta. Tällaisissa tapauksissa tehollisten liitinten määrä on tarkasteltava kaikille liitoksen puosille erikseen kyseisen puosan syysuuntaiselle kuormakomponentille. Tällöin tehollisten liitinten määrää joudutaan optimoimaan useammassa suunnassa..

Kuvassa 21 on esitetty kaksi vaihtoehtoista tapaa liitinten sijoitteluun, kun puuosien välistä leikkausliitosta kuormitetaan vaakasuuntaisella kuormalla. Molemmissa liitoksissa on 21 liitintä, mutta tavassa (a) ei ole huomioitu liitinten sijoittelussa vaakapuun syysuuntaisia rivejä ja niiden vaikutusta tehollisten liittimien määrään. Tavassa (b) näin on tehty. Jos liittimet ovat lähellä toisiaan (tehollisten liittimien raja-arvot ylittyvät), on esitetyistä vaihtoehdoista (a):n kokonaiskapasiteetti todellisuudessa pienempi. Vaakakuorma tuottaa myös vinoon puosalle syysuuntaisen kuormakomponentin, joten tehollisten liittimien määrä tulee tarkastaa myös tässä puuosassa.



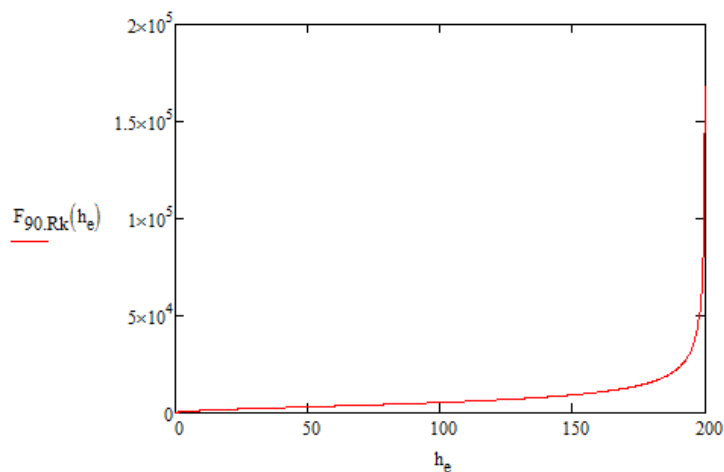
Kuva 21. Kaksi vaihtoehtoista liitinten sijoittelua: (a) syysuuntaisissa riveissä 7 liitintä, (b) syysuuntaisissa riveissä 3 liitintä

#### 4.1.2 Halkeamiskestävyys

Liitinsijoittelulla voidaan vaikuttaa myös liitoksen puuosan halkeamiseen, kun liitos kohdistaa puosaan puun syysuuntaa vastaan kohtisuoran voimakomponentin. Halkeamismurrosta liittimien varsinaisella määrällä tai tehollisella määrällä ei ole vaikutusta liitoksen kestävyys. Halkeaminen riippuu vain puuosan paksuudesta, korkeudesta ja sen kuormitetusta reunasta kauimpana sijaitsevan liittimen sijainnista. Kuvassa 22 on esitetty kuormitetusta reunasta kauimmaisen liittimen sijainnin  $h_e$  vaikutus halkeamismurtokestävyys, kun palkin korkeus on 200 mm. Halkeamiskestävyden laskennassa käytettävä kaava halkeamismurtokestävyden ominaisarvolle  $F_{90,Rk}$  [N] on (8 s. 51):

$$F_{90,Rk} = 14b \sqrt{\frac{h_e}{(1-\frac{h_e}{h})}} \quad \text{EC5: (8.4)}$$

missä  $b$  on puusauvan paksuus  
 $h$  on puusauva korkeus  
 $h_e$  on kuormitetusta reunalinjasta kauimpana olevan liittimen etäisyys

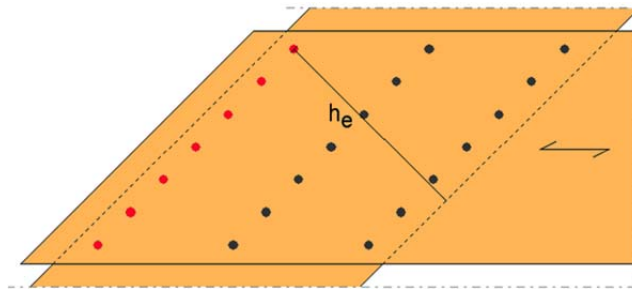


Kuva 22. Halkeamismurtokestävyden ominaisarvo  $F_{90,Rk}$  [N] etäisyyden  $h_e$  [mm] funktiona

Halkeamismurtokestävyys nousee merkittävästi vasta, kun lähestytään tilannetta, jossa liitin on lähellä kuormittamatonta reunaa. Halkeamismurtokestävyttä voidaan siis liitinsijoittelun avulla lisätä sijoittamalla liitinryhmä niin, että sen kuormittamatonta päätä lähinnä oleva liitin on mahdollisimman lähellä reunaa. Tätä reunaa koskevia vähimmäisreunaetäisyyksiä on kuitenkin noudatettava.

Halkeamiskestävyyden optimointi on verrattain yksinkertaista. Jos puuosan kokoa ei huomioida, vaan keskitytään pelkästään liitinsijoittelun optimoimiseen, saadaan halkeamiskestävyys suurimmaksi, kun kasvatetaan etäisyyttä kuormitetusta reunasta kauimpaan liitimeen. Liitinryhmän reuna sijoitetaan siis minimietäisyydelle kuormittamattomasta reunasta.

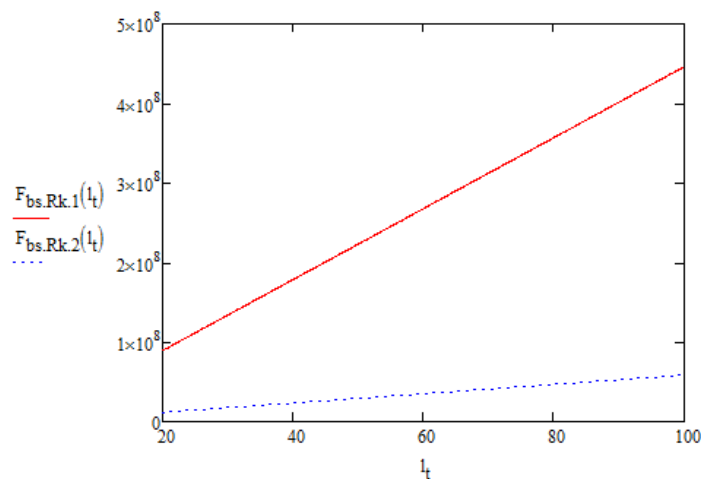
Kuvassa 23 on havainnollistettu halkeamismurron määrittäviä tekijöitä puuosien välisessä leikkausliitoksessa, kun liitosta kuormittaa vaakasuuntainen vetovoima. Kuvassa punaiset liittimet sijaitsevat kauimpana kuormitetusta reunasta ja niiden etäisyys reunasta  $h_e$  lasketaan kohtisuorana etäisyytenä reunalinjaan. Suurin halkeamismurtokestävyys saavutetaan, kun etäisyys  $h_e$  on suurin. Tällöin punaiset liittimet tulisi asettaa mahdollisimman lähelle kuormittamatonta reunaa.



Kuva 23. Halkeamiskestävyyden määrittävät liittimet (punaisella) ja kuormitetusta reunasta kauimpana olevan liittimen etäisyyden määrittäminen

#### 4.1.3 Lohkeamiskestävyys

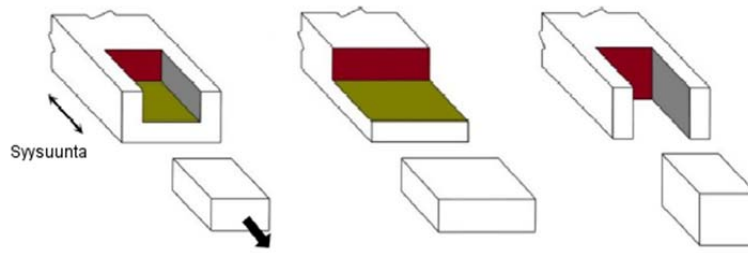
Liitinsijoittelulla voidaan vaikuttaa myös kestävyteen lohkeamismurtumatapauksissa. Puuosien välisessä lohkeamismurrosta tarkastetaan liitinryhmän murtuminen leikkauksessa liitinrivien sivusta ja vedossa liitinrivin päädyssä. Kuvassa 24 on esitetty liitinvälin  $l_t$  vaikutus lohkeamismurtokestävyyteen Kerto-S-sauvanpään vedossa ( $F_{bs,Rk,1}(l_t)$ ) ja leikkauksessa ( $F_{bs,Rk,2}(l_t)$ ).



Kuva 24. Lohkeamismurtokestävyys [N] vedossa ( $F_{bs,Rk,1}(l_t)$ ) ja leikkauksessa ( $F_{bs,Rk,2}(l_t)$ )

Puun syysuuntainen leikkauslujuus on huomattavasti heikompi, kuin sen syysuuntainen vetolujuus. Kerto-S-palkeilla syysuuntainen leikkauslujuus on esimerkiksi lappeellaan ( $f_{v,0,flat,k}$ ) vain  $2,3 \text{ N/mm}^2$  ja syrjäsuunnassa ( $f_{v,k}$ )  $4,1 \text{ N/mm}^2$ , kun syysuuntainen vetolujuus  $f_{t,0,k}$  on  $35,0 \text{ N/mm}^2$ . (5 s. 6) Kuvassa 25 on esitetty eri ominaislujuuksien vaikutuskohdat lohkeamismurtumassa.



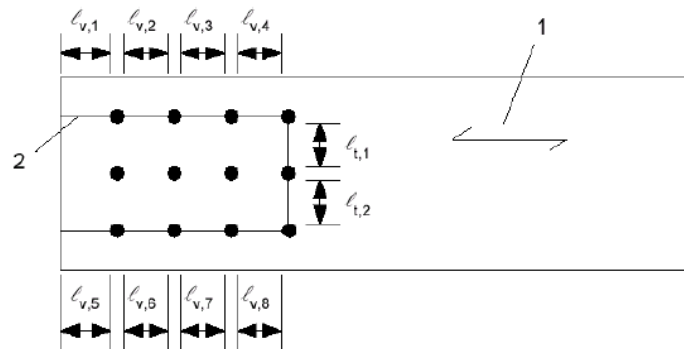


**Kuva 25. Lohkeamismurtuman murtumakohtien ominaislujuudet [N/mm<sup>2</sup>]:**

- punainen syysuuntainen vetolujuus  $f_{t,0,k}$
- keltainen leikkauslujuus lappeellaan  $f_{v,0,flat,k}$
- harmaa leikkauslujuus syryllään  $f_{v,k}$

Syysuuntaisen vetolujuuden merkitys on siis yleensä merkittävin, kun tarkastellaan lohkeamismurtumaa. Tämän vuoksi liitosalueen leveyden vaikutus liitosalueen lohkeamismurtokestävyyteen on huomattavasti merkittävämpi, kuin liitoksen pituus. Liitosalueen pituutta kasvattamalla ei täten saavuteta merkittäviä lisäyksiä liitosalueen lohkeamismurtokestävyyteen, mutta liitosaluetta leventämällä voidaan vaikuttaa merkittävästikin liitosalueen lohkeamismurtokestävyyteen. Liitinten määrä leveyssuunnassa kuitenkin vähentää vetokestävyyttä, joten liitinten määrää syysuuntaa kohtisuorassa rivissä tulisi pyrkiä rajoittamaan.

Lohkeamiskestävyyden mitoituksessa huomioidaan vain liitinten väliset alueet, sillä kestävyys riippuu puuosan murtokestävyydestä. Liitinten paksuuksien levyiset alueet jätetään siis huomioimatta lohkeamiskestävyyttä mitoittaessa. Liitinten väliset alueet  $l_{v,i}$  ja  $l_{t,i}$  on esitetty kuvassa 26.

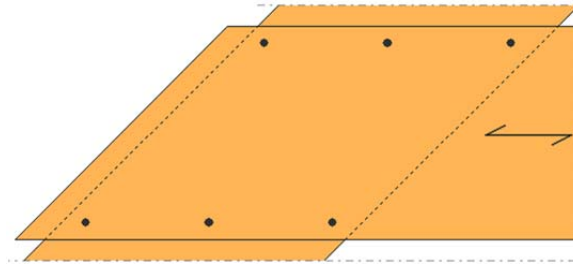


**Selite:**

- 1 Syysuunta
- 2 Murtumislinja

**Kuva 26. Liitinvälit ja murtumislinjat lohkeamismurtumassa: veto  $l_v$  pinnassa, leikkaus  $l_t$  pinnoissa (8 s. 100)**

Liittimien määrä syysuuntaa vastaan poikittaisissa riveissä vähentää liitoksen lohkeamismurtokestävyyttä, joten optimaalisimmassa sijoittelussa liittimet olisi asetettu kahteen syysuuntaiseen riviin, jotka sijoitetaan mahdollisimman kauas toisistaan eli minimietäisyyksien päähän kuormittamattomasta reunasta. Kuvassa 27 on havainnollistettu liitinasettelua, jos halutaan maksimoida liitoksen lohkeamismurtumakestävyys. Liittimiä käytetään mahdollisimman vähän ja ne sijoitetaan mahdollisimman kauas toisistaan, jotta liitinten välinen alue, josta veto- ja leikkauskestävyydet määritetään, saadaan mahdollisimman suureksi.



**Kuva 27. Lohkeamismurtumakestävyyden maksimointi liitinsijoittelulla vaakapuussa**

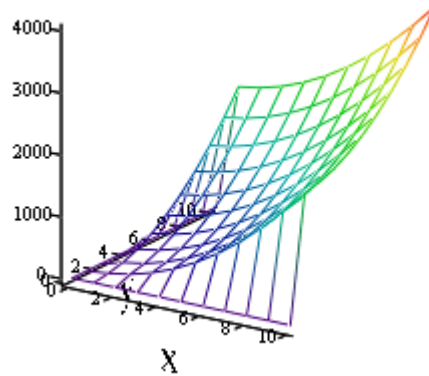
Ideaalitilanteessa liittimiä olisi vain neljä eli yksi jokaisessa liitoksen kulmassa. Suurilla kuormilla liitinmäärää joudutaan kuitenkin kasvattamaan, jolloin ensisijainen liittimien sijoittelu on kahteen syysuuntaiseen riviin tehtävä sijoittelu. Kuorman kasvaessa edelleen saavutetaan piste, jossa liittimet eivät enää mahdu kahteen riviin, jolloin joudutaan lisäämään syysuuntaisia rivejä.

Syysuuntaisten rivien määrän minimointi ja siten syysuuntaisissa riveissä olevien liittimien määrän maksimointi on ristiriidassa tehollisten liitinten mukaisen optimoinnin kanssa. Luvussa 4.1.1 esitettiin, että tehollisten liitinten määrää optimoitaessa syysuuntaisiin riveihin tulisi sijoittaa mahdollisimman vähän liittimiä. Menetelmät ovat kuitenkin päällekkäisiä ja liitoksen tehollisten liittimien määrä voidaan jättää tarkistamatta, jos lohkeamismurtumatarkastelu tehdään. Näin optimointikin voidaan suorittaa tarkastelemalla vain lohkeamismurtumaa. Jos liitos koostuu useammasta kuin yhdestä puuosasta, tulee lohkeamismurtuma tarkistaa kaikissa puuosissa joiden pää on lähellä liitosaluetta. Tämä tekee optimoinnista monimutkaisempaa, sillä yhden puosa syysuuntaiset rivit ovat toisen puosan syysuuntaa vastakkaisia rivejä.

#### **4.1.4 Liitinryhmän jäyhyysmomentti**

Edellisissä kappaleissa esitetyt liitoksen kestävyteen liittyvät liitinsijoittelun vaikutukset koskevat puhdasta liitoksen leikkauskestävyyttä. Jos liitosta rasittaa myös momentti, voidaan liitinsijoittelulla vaikuttaa myös liitinryhmän momenttikapasiteettiin. Momenttirasitus voi olla joko liitoksen ulkopuolista momenttirasitusta tai liitoksen sisäistä rasiitusta, joka syntyy kun liitosryhmän painopiste poikkeaa liitoksen kiertokeskiöstä, jonka esimerkiksi puuosien välisessä leikkausliitoksessa määrittää leikkausvoimien linjojen risteämiskohta. Momenttikapasiteetti riippuu liitinryhmän jäyhyysmomentista, joka on liitinryhmän geometrinen ominaisuus ja johon voidaan vaikuttaa liitoksen liitinsijoittelulla.

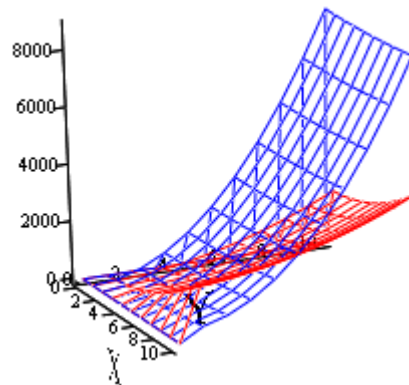
Kuvassa 28 on esitetty jäyhyysmomentin arvo liitoksessa, jossa on 4\*4 liitintä, kun liitinvälit x- ja y-suunnissa ovat välillä 0...10. Jäyhyysmomentin arvo kasvaa siis voimakkaasti, kun liittimet ovat kauimpana toisistaan.



Kuva 28. Liitinryhmän jäyhyysmomentti 4x4 -liitoksissa

Liitinryhmän muodolla ei ole yksiselitteistä vaikutusta liitinryhmän jäyhyysmomenttiin. Jos liittimet ovat kummassakin suunnassa toisistaan samalla etäisyydellä, on suorakaiteen muotoinen liitinryhmä tehokkaampi kuin neliö, koska kauimmaisten liittimien etäisyys liitinryhmän painopisteestä kasvaa suuremmaksi. Koska liittimien välit voivat kuitenkin vaihdella vapaastikin, ei liitinryhmän muodosta voida tehdä johtopäätöksiä jäyhyysmomentin suhteen.

Kuvassa 29 on havainnollistettu erimuotoisten liitinryhmien ja liitinetäisyyksien vaikutusta jäyhyysmomenttiin. Kuvassa on esitetty jäyhyysmomenttien arvot kahdessa erilaisessa liitoksessa, kun liitinvälit ovat x- ja y-suunnissa välillä 0...10. Liitoksissa on molemmissa 16 liittintä, mutta punaisella merkityssä liitoksessa liitos koostuu neljästä neljän liittimen rivistä ja sinisessä merkityssä liitoksessa kahdesta kahdeksan rivin liitoksesta.



Kuva 29. Liitinryhmien jäyhyysmomentit 4\*4 (punainen) ja 2\*8 -liitoksissa (sininen)

Vain kahdesta liitinrivistä koostuvalla liitinryhmällä saavutetaan siis korkeimmat jäyhyysmomentit, mutta vain, jos liittimien välejä voidaan kahdeksan liittimen riveissä kasvattaa huomattavasti (y-akseli). Kahden rivin välisen etäisyyden kasvattaminen taas ei merkittävästi vaikuta liitinryhmän jäyhyysmomenttiin (x-akseli). Kun liittimien välit ovat y-akselin suunnassa (2\*8-liitoksessa kahdeksan liittimen rivissä) pieniä, voidaan 4\*4-liitoksella päästä korkeampiin jäyhyysmomentteihin.

Jäyhyysmomenttia voidaan helposti kasvattaa liitinvälejä kasvattamalla, joten jäyhyysmomentin kannalta tulisi hyödyntää koko mahdollinen liitosalue ja sijoittaa liittimet mahdollisimman kauas liitinryhmän painopisteestä. Liitinryhmän muodon

mukainen optimointi on matemaattisesti hankalampaa, koska liitinryhmän kestävyys riippuu sekä liitinryhmän muodosta, että liitinten välisistä etäisyyksistä.

## **4.2 Tehokkaimman liitinsijoittelun hakeminen algoritmisesti**

Liitinryhmän liitinsijoittelun optimoinnin tavoitteena on löytää pienin määrä liittimiä, joilla kyseinen liitos voidaan toteuttaa, ja jolla saavutetaan liitokselle suurin mahdollinen kapasiteetti. Luvussa 4.1 esitettyjen syiden vuoksi ei liitinmäärää usein voida suoraan määrittää yksittäisen liittimen kapasiteetista ja liitoksen leikkausrasituksesta, sillä myös liitinten sijoittelu vaikuttaa liitoksen kestävyyskykyyn. Liitinsijoittelun merkitys kasvaa entisestään, jos liitokseen kohdistuu momenttirasitusta. Liitinsijoittelun optimoinnilla pyritäänkin siis löytämään kaikkein edullisin liitinsijoittelu, niin että käytettävä liitosalue on käytetty mahdollisimman tehokkaasti.

### **4.2.1 Lähtötiedot**

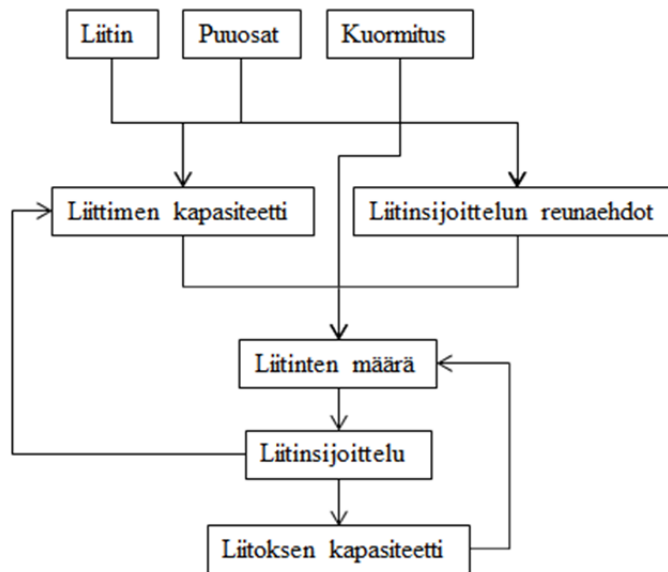
Leikkausliitoksessa on oltava liittimiä vähintään niin monta, että liitinten yhteen laskettu kapasiteetti on riittävä leikkausvoimien resultantille. Liitinmäärän maksimi on liitosalueelle geometrisesti mahtuvien liittimien suurin määrä. Todellinen tarvittava liittimien määrä on yleensä jotain tältä väliltä, koska liitokseen kohdistuva momenttirasitus ja liitinryhmän epäkeskisyydestä johtuva liitosmomentti lisäävät liittimiltä tarvittavaa kapasiteettia.

Kun liitintyyppi, liittyvät osat ja niiden kuormitus tunnetaan, saadaan yllä mainitut raja-arvot määritettyä helposti laskennallisesti. Liittimien kapasiteetti saadaan laskettua liittimen ja puuosien geometrisista tiedoista ja lujuusominaisuuksista. Paksuilla liittimillä tulee huomioida myös kuorman ja puuosan syysuunnan välisen kulman vaikutus reunapuristuslujuuteen. Liitinetäisyydet määritetään liittimien halkaisijasta ja puuosan syysuunnan ja kuormaresultantin välisestä kulmasta. Nämä kaikki voidaan laskea liitoksen lähtötiedoista suoraviivaisesti lukuun ottamatta reunapuristuslujuuksia käytettäessä paksuja liittimiä. Liittimen, osien ja kuormituksen määrittelystä voidaan siis suoraan laskea tarvittavien liittimien vähimmäismäärä ja liitosalueelle mahtuva liittimien maksimimäärä.

### **4.2.2 Hakualgoritmit**

Liitoksen mitoittaminen on usein rekursiivista, sillä liitinten sijoittelu vaikuttaa yksittäisten liittimien kapasiteettiin ja niille tulevaan kuormitukseen ja liitinten kapasiteetti sekä kuormitus vaikuttavat liitinten sijoitteluun. Mitoitusta ei siis voida suorittaa yhdellä laskutoimituksella, vaan sitä joudutaan korjaamaan liitinsijoittelun muuttuessa. Tämä koskee erityisesti pultteja ja paksuja ruuveja, joilla kuormituksen ja syysuunnan välinen kulma vaikuttaa puuosien reunapuristuslujuuksiin ja tätä myöten yksittäisen liittimen kestävyyskykyyn ja liitosryhmiä, joita rasittaa momentti, jolloin kuormitus jakautuu epätasaisesti liittimille. Tällöin liittimiin kohdistuva kuormitus on erilaista riippuen liitinsijoittelusta ja kuormituksen suunta vaihtelee liitinkohtaisesti, joten liittimien määrää ei voida suoraan arvioida. Kuvassa 30 on esitetty karkeasti liitoksen mitoituksen rekursiokaavio. Liitinsijoittelun vuoksi saatetaan siis joutua korjaamaan liittimen kapasiteettia, jos liittimeen kohdistuvan kuorman kulma poikkeaa oletetusta. Liitinten määrää alun perin arvioitaessa voidaan huomioida vain leikkausvoima. Liitinsijoittelu vaikuttaa mahdollisen momentin jakautumiseen liitoksessa, joten liitoksen kapasiteetti saattaa jäädä liian pieneksi liitinsijoittelun

määrittämisen jälkeen. Tällöin liitinten määrää ja tätä myöten liitinsijoittelua on muokattava.



Kuva 30. Liitoksen mitoituksen rekursiokaavio

Tietokoneella suoritetun laskennan suurin hyöty on suuri laskentanopeus, joka mahdollistaa useiden eri liitosvaihtoehtojen nopean tarkastuksen. Koska tehokkaimman liitinsijoittelun määrittäminen suoraan on mahdotonta, täytyy liitinsijoittelun optimointia varten suorittaa lukuisia laskentatoimenpiteitä erilaisilla liitinsijoitteluilla, kunnes edullisin vaihtoehto löydetään. Tietokoneella näiden laskutoimenpiteiden suorittaminen on huomattavasti nopeampaa kuin käsin.

Liittimien minimimäärän ja maksimimäärän välillä sijaitsevaa liittimien tehokkainta määrää voidaan etsiä tarkastamalla eri liitinmäärien ja liitinsijoitteluiden kapasiteetti. Haku voidaan tehdä joko lineaarisesti etenemällä minimimäärästä maksimimäärään peräkkäishauulla ja pysähtymällä, kun pienin mahdollinen liitinmäärä on löydetty tai puolitusauulla, jolloin suoritetaan hakuiteraatioita niin, että jokaisessa iteraatiossa tarkastetaan puolivälissä sijaitseva liitinmäärä ja suljetaan tätä suuremmat tai pienemmät liitokset hausta pois. Metodien erot tulevat esille käytävien liitinmäärien määrinä. Taulukossa 2 on esitetty peräkkäis- ja puolitusaukujen suorituskyvyn tunnuslukuja.

Taulukko 2. Peräkkäishaun ja puolitushaun suorituskyyky (21)

Suorituskyyky	Peräkkäishaku	Puolitushaku
Parhaassa tapauksessa	$O(1)$	$O(1)$
Pahimmassa tapauksessa	$O(n)$	$O(\log n)$
Keskimäärin	$O(n/2)$	$O(\log n)$

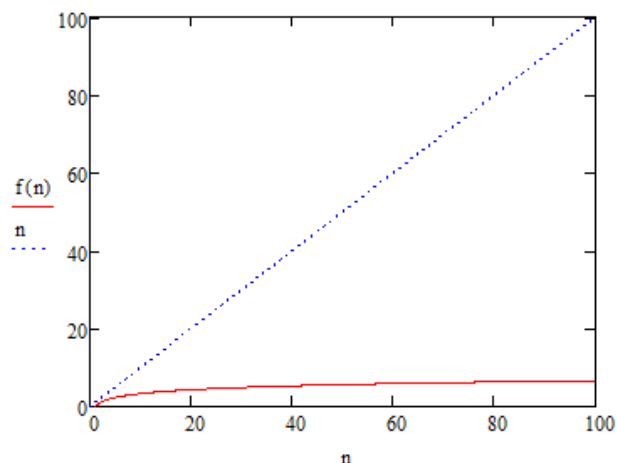
Tunnusluvuissa  $n$  on läpikäytävien alkiodien määrä. Liitinsijoittelun optimoinnissa tämä on mahdollisten liitinmäärien lukumäärä (suurin liitokseen mahtuva liitinmäärä - pienin leikkausvoimaan tarvittava liitinmäärä + 1). Hakualgoritmia valittaessa pahimman tapauksen ja keskimääräisen suorituskyykyt nousevat ratkaiseviksi tekijöiksi. Puolitushaussa jokaisella hakuiteraatiolla jäljelle jäävien mahdollisten alkiodien määrä

puolittuu, joten haku on logaritminen. Liitinsijoittelun optimoinnin erikoisuutena on se, että haku täytyy aina suorittaa loppuun asti, jotta varmistutaan siitä, että löydetty vaihtoehto on juuri kaikkein pienin. Suurilla alkiomäärillä puolitushaulla päästään kuitenkin myös niissä tapauksissa, joissa laskenta suoritetaan loppuun, vähemmällä laskennalla kuin peräkkäishauulla.

**ESIMERKKI:** Liitoksen minimiliitinmääräksi arvioidaan yksittäisen liittimen kapasiteetin (1220 N) ja liitosta kuormittavan vetovoiman (10 kN) perusteella 9 kpl. Liitosalueen geometrian perusteella liitosalueelle mahtuu 72 liitintä. Näiden välinen erotus on 63. Mahdollisia liitinmääriä on siis yhteensä 64, sillä myös minimiliitinmäärä tulee tarkistaa. Peräkkäishauulla suoritetaan siis pahimmassa tapauksessa 64 tarkastusta ja keskimäärin 32 tarkastusta. Puolitushaulla suoritetaan aina  $O(\log 64)$  tarkastusta:

$$\log_2 64 = 6$$

Suurillakin alkiomäärillä puolitushaulla päästään siis huomattavasti alempiin tarkastettavien alkioiden määrään kuin peräkkäishauulla. Kuvassa 31 on verrattu puolitushaun suorituskkyä pahimmassa tapauksessa alkioiden määrän  $n$ , kun alkioita 0..100.



Kuva 31. Puolitushaun suorituskky verrattuna alkioiden määrän  $n$

Koneen laskentatehosta riippuu, kuinka paljon konkreettista hyötyä puolitushaun käyttämisestä saadaan. Alkiomäärien pysyessä pieninä voi hakualgoritmien eroa olla vaikea erottaa käytännössä.

### 4.3 Optimoinnin muut vaihtoehdot

Liitinsijoittelun optimointi ei ole ainut liitoksen optimoinnin vaihtoehto. Optimoinnin tavoitteena on usein kustannusten minimoiminen. Kustannuksiksi voidaan laskea esimerkiksi käytettävät liittimet ja liitoksen asennuksen hinta, joita voidaan optimoida esimerkiksi käyttämällä paksuja liittimiä, jolloin liittimien määrä ja tätä myöten asennuskustannukset saadaan pienemmiksi. Optimointia kehitettäessä eteenpäin tulisi siis huomioida myös valittavan liittimen optimointi sekä puuosien optimointi.

Optimoinnin haaste on kuitenkin liitosmitoituksen rekursiivinen luonne. Liittimen paksuus vaikuttaa vaadittaviin liitinväleihin, joten liittimen vaihtaminen vaikuttaa myös

liitinsijoitteluun. Toisaalta paksujen liittimien käyttämien saattaa heikentää liitoksen kestävyyttä, sillä esimerkiksi lohkeamismurtumiskestävyys alenee paksuilla liittimillä.

Selkeää algoritmista ratkaisua liittimen valinnan ja liitinsijoittelun yhdistämiseksi optimoinnissa ei tässä työssä havaittu. Jos puuosien kokoa ei ole tarkasti rajattu, voitaisiin myös puuosien suurennuksesta mahdollisesti saatava hyöty huomioida optimoinnissa. Eri ratkaisujen laskenta ja vertailu on mahdollinen ratkaisu myös tällaiseen optimointiin, mutta liittimien ja puuosien vaihtaminen kasvattaa tarkistettavien liitoksien määrää huomattavasti. Samalla joudutaan mahdollisesti luopumaan puolitushaun käyttämisestä sillä erilaisten ratkaisujen vertailu ei ole enää niin suoraviivaista. Pienemmillä liitinpaksuuksilla voidaan suuremmalla liitinmäärällä saavuttaa parempi kestävyys tai toisinpäin. Optimointi tulisi siis luultavasti hidastumaan merkittävästi.

Vaihtoehtoisten liitosten määrä saataisiin rajattua, jos optimointi suoritettaisiin jonkinlaisen valintadialogin kautta. Valintadialogissa käyttäjä voisi valita ne haluamansa parametrit joiden perusteella optimointia tehdään (liitintyyppi, liitinsijoittelu, puuosat) ja ne välit, joissa kussakin parametrissa liikuttaisiin. Näin optimointi voitaisiin rajata esimerkiksi kahteen eri pulttipaksuuteen tai niin, että puuosille sallittaisiin alkuarvoista 25 mm suuremmat dimensiot.

Liitosalueen suunnittelussa voidaan huomioida myös muita tekijöitä kuin kestävyys tai kustannusten minimointi. Asennettavuuteen voivat vaikuttaa myös liitosta ympäröivät rakenteet, jolloin asennuksessa ei voidakaan hyödyntää koko liitosaluetta. Samoin esteettisille arvoille voidaan antaa liitoksen suunnittelussa arvoa, jolloin voidaan suosia jotain tiettyä liitintyyppiä tai liitinryhmän muotoa. Tämän vuoksi tulisi mahdollistaa esimerkiksi myös mahdollisimman tiiviin liitinsijoittelun tai neliömäisen ja pitkulaisen liitinsijoittelun välinen valinta. Myös liitoksen murtotapaa voidaan optimoida ja liitoksessa pyrkiä johonkin sitkeistä murtotavoista, jolloin liittimet myötäävät ennen murtoa. Sitkeää liitosta voidaan tavoitella pienemmillä liitinpaksuuksilla. Paksuilla liittimillä murto on todennäköisempi pelkästään puuosissa.

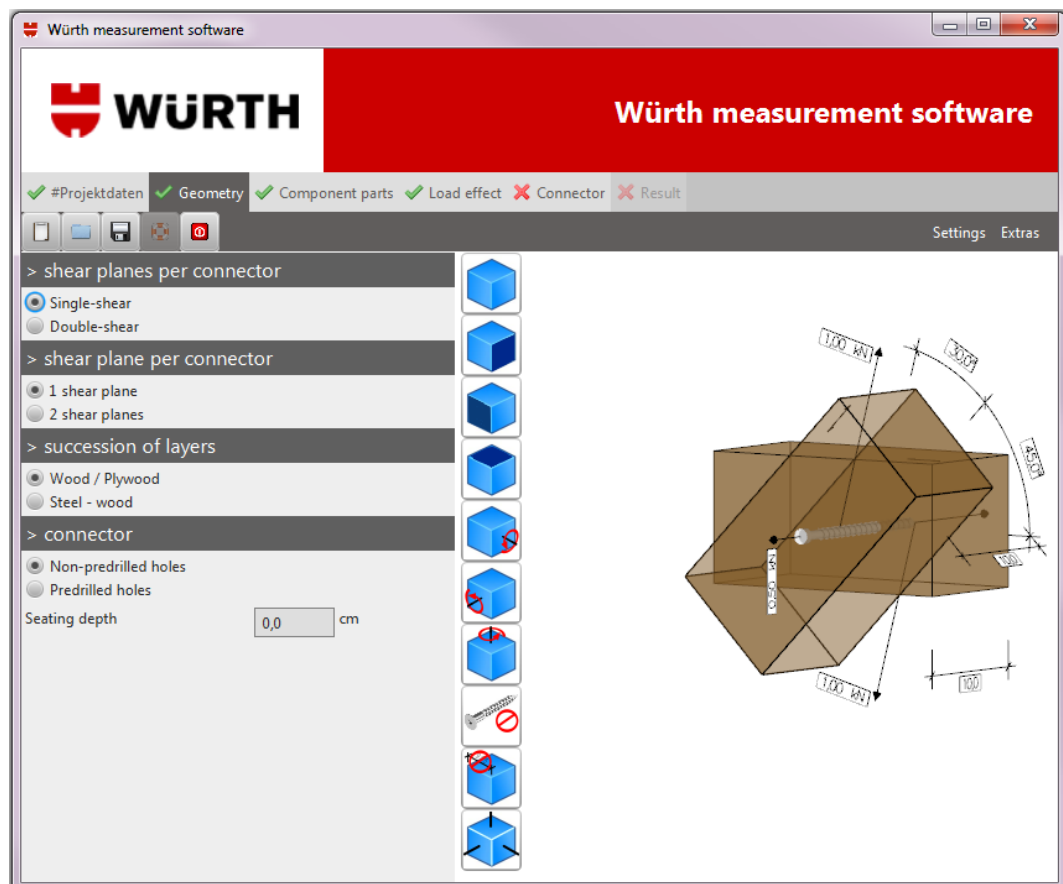
Optimointia on siis mahdollista tehdä useiden erilaisten parametrien suhteen. Tämä myös ohjaa optimointia usein erilaisiin lopputuloksiin, joten yhtä yksittäistä optimointitapaa ei pystytä erottamaan. Hyvässä optimoinnissa pitäisi pystyä valitsemaan optimoinnin tavoite (esimerkiksi kestävyys, sitkeys, kustannukset) ja sitä rajoittavat tekijät (esimerkiksi käytettävät liittimet, käytettävissä oleva liitosalue).

## 5 Puurakenteiden liitosten mitoitukseen käytettävien ohjelmien kartoitus

Puurakenteiden liitosten mitoitukseen on tarjolla useita ohjelmia. Ohjelmistokehityksessä edeltävien ja kilpailevien tuotteiden kartoitus on tärkeää, jotta uudesta ohjelmasta saadaan mahdollisimman hyvä. Muita ohjelmia kartoittamalla ja analysoimalla voidaan välttää samat virheet, joita muut ovat tehneet ja ammentaa kehitysideoita kohdista, jotka muissa ohjelmissa vaikuttavat onnistuneilta. Liitosmitoitushjelmakartoituksen päätavoite on tunnistaa ohjelmistoista toiminnallisuuksia ja ominaisuuksia, joiden perusteella diplomityössä määriteltävää ohjelmaa voidaan kehittää.

## 5.1 Würth-mitoitusohjelmat

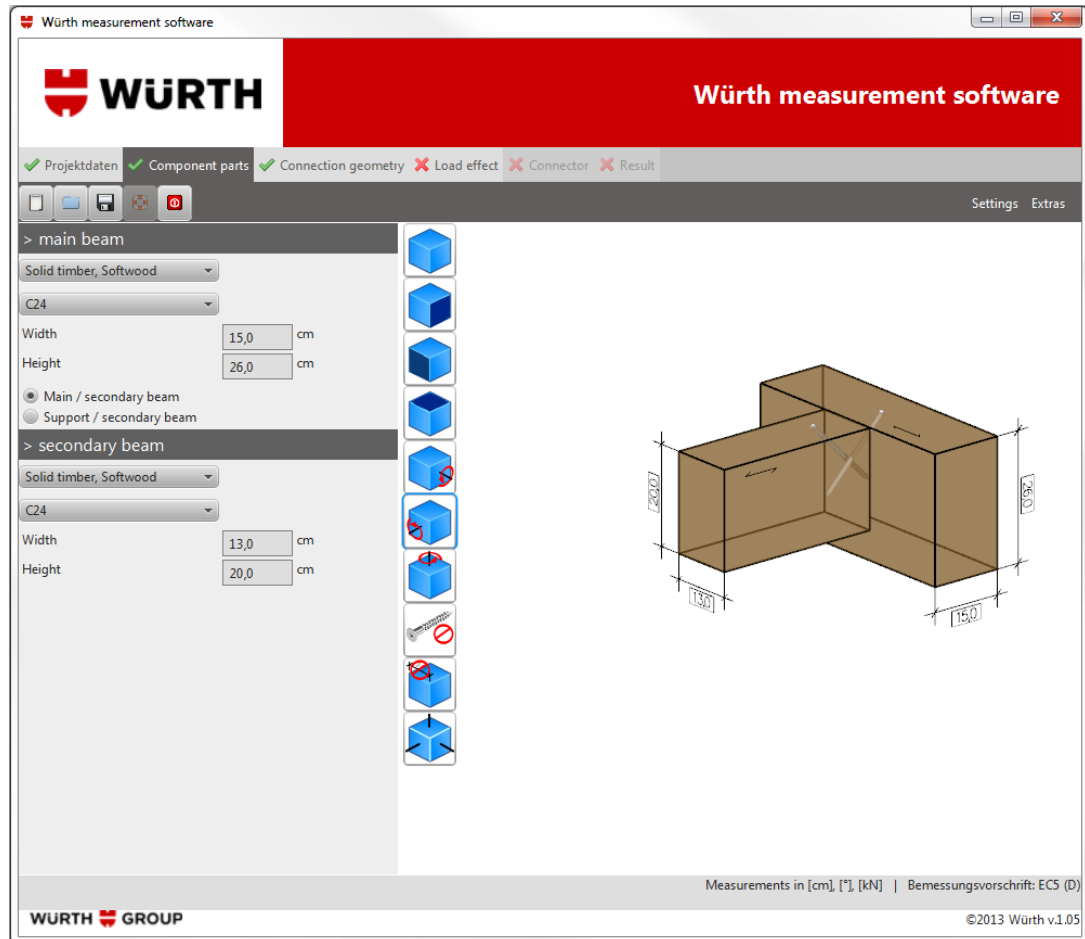
Liittimiäkin valmistava monialayritys Würth on kehittänyt kaksi liitosmitoitushjelmaa, joilla kummallakin pystyy mitoittamaan erilaista puuliitosta. Molemmat ohjelmat mitoittavat Würthin ASSY-ruuviliittimiä: *Würth measurement software - Screw Measurement* yksi- tai kaksileikkeisessä liitoksessa leikkaus- tai vetorasitukselle sekä näiden yhdistelmälle ja *Würth measurement software - Connection for main and secondary beams* pääpalkin ja sekundääripalkin liitokselle. Molemmissa ohjelmissa mitoitusta tehdään Eurokoodi-standardin ja Saksan kansallisen liitteen mukaisesti. Kuvassa 32 on esitetty *Screw measurement*-ohjelman käyttöliittymä ja liitostyyppi.



### Kuva 32. Würth-mitoitusohjelma leikkaus- ja vetoliitokselle



Molempien ohjelmien rakenne on samankaltainen. Mitoitus tehdään kuudella välilehdellä, joissa syötetään projektitiedot, liitoksen geometriaan liittyvät tiedot, määritetään liitoksen osat ja liitokseen kohdistuva kuormitus. Kaksi viimeistä välilehteä sisältävät liitoksen mitoituksen ja yhteenvedon tuloksista. Kuvassa 33 on esitetty *Connection for main and secondary beams* -ohjelman käyttöliittymä ja *Component parts* -välilehti.



Kuva 33. Würth-mitoitusohjelma pääpalkin ja sekundääripalkin liitokselle

Liitoksen osille määritetään osien materiaali ja lujuusluokka sekä osien koot. Molemmissa ohjelmissa voidaan hallita osien välistä kulmaa. *Screw measurement* -ohjelmassa voidaan liitoksen geometriaksi valita yksi- tai kaksileikkeinen liitos, jossa kaksileikkeinen liitos voidaan toteuttaa joko yhdellä tai kahdella vastakkaisella liittimellä. Liitoksessa voidaan käyttää myös metallilevyä, joka yksileikkeisessä liitoksessa on toinen liitososista ja kaksileikkeisessä liitoksessa kahden puukappaleen välissä.

*Connection for main and secondary beams* -ohjelmassa liitoksen geometriaan voidaan vaikuttaa lähinnä vain osien välisen kulman avulla. Kehitysversiona on mahdollista vaikuttaa vain osien väliseen kulmaan tasossa. Vertikaalisen kulman muuttamiseen tarkoitettu osio ei ole tällä hetkellä käytettävissä. Liitokseen voidaan valita vinoruuvaus joko yhdellä ruuvilla tai kahdella ruuvilla ristiin.

Molemmissa ohjelmissa voidaan määrittää liitokseen kohdistuvalle kuormalle sen käyttö- ja aikaluokat. *Screw measurement* -ohjelmassa voidaan liitokselle määrittää sekä

veto- että leikkauskuormitusta ja näiden yhdistelmä. Leikkauskuorman suuntaa voidaan muuttaa. *Connection for main and secondary beams* -ohjelmassa kuorma määritetään pystysuuntaisena leikkauskuormana liitoksen päälle.

Ohjelmien mitoitus tapahtuu omalla välilehdellään, jossa ohjelma laskee määritetylle liitokselle soveltuvat liittimet. Liittimet esitetään puurakenteessa, josta valitaan liittimen tyyppi, halkaisija ja pituus. Liittimet on merkitty joko vihreällä tai punaisella riippuen siitä täyttyvätkö mitoitus ehdot kyseisellä liittimellä.

Tuloksissa esitetään liittinten kapasiteetit. *Connection for main and secondary beams* -ohjelmassa on lisäksi mahdollisuus yksityiskohtaisemman tulosraportin luomiseksi PDF-muodossa.

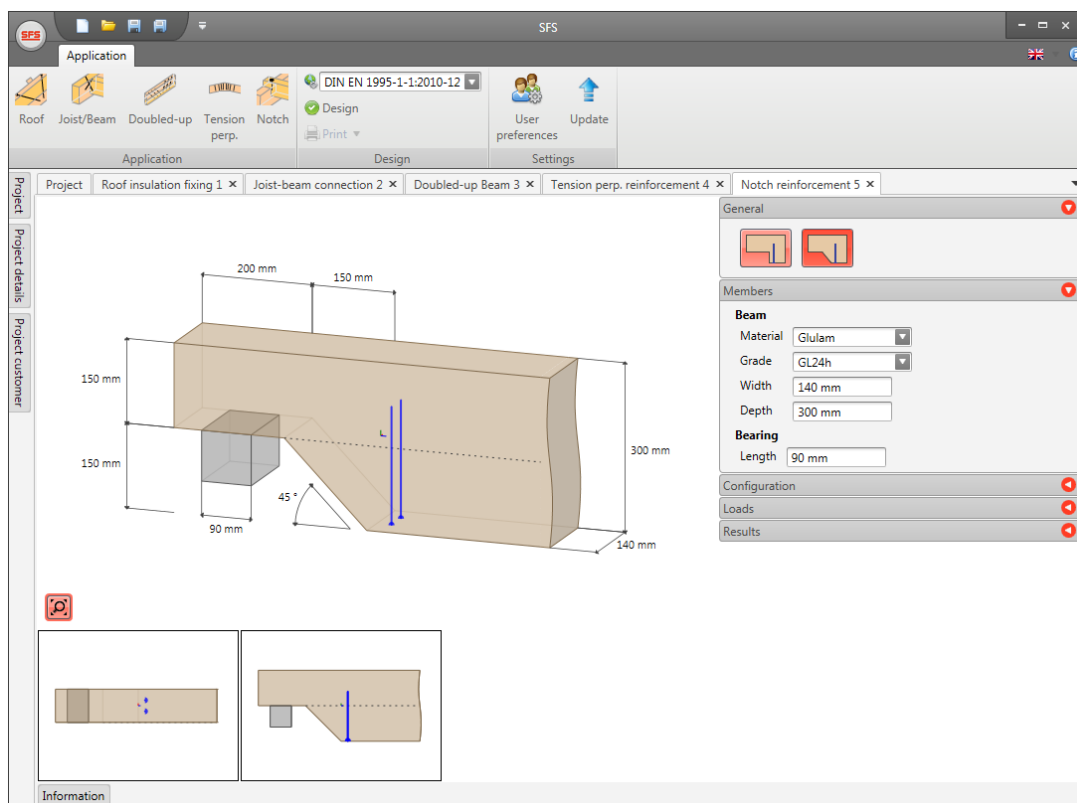
Ohjelmat ovat vasta kehitysvaiheessa ja tarjoavat mitoitus vain kahdelle eri liitostyypille. Ohjelmien rakenne on selkeä ja liitoskuva erittäin havainnollinen. Liittimien määrää liitoksessa ei voi säätää. Tulokset on esitetty erittäin suppeasti. Jos liitoksen mitoituksessa ei yksikään liittintyyppi täytä mitoitus ehtoja, ei käyttäjällä ole mitään mahdollisuutta arvioida mikä on kriittisin ongelma liitoksessa. Tuloksista ei käy ilmi liitoksen käyttöastetta, eikä liittimiä lukuun ottamatta liitoksen osille anneta mitään mitoitus tuloksia, joten tuloksen luotettavuutta on vaikea arvioida.

## 5.2 SFS Timber Work Software EC5

Kiinnitystarvikkeita valmistava SFS intec on kehittänyt mitoitusohjelman viidelle puurakenteiden liitokselle:

1. Katon eristeen kiinnitys
2. Vasan kiinnitys palkkiin (eri kulmissa)
3. Mekaanisesti yhdistetyt kaksois- ja kolmoispalkit
4. Ripustusliitoksen vahvistus
5. Loveuksen vahvistus (kuva 34)

Laskenta suoritetaan Eurokoodi 5:n ja Saksan, Itävallan, Tšekin, Ranskan tai Italian kansallisen liitteen mukaisesti. Laskenta tapahtuu määrittelemällä rakenne ja kuormat ylhäältä alas ohjelman oikeassa laidassa olevassa valikossa. Tämän jälkeen ohjelma laskee mitkä liitinvaihtoehdoista täyttävät mitoitus ehdot.

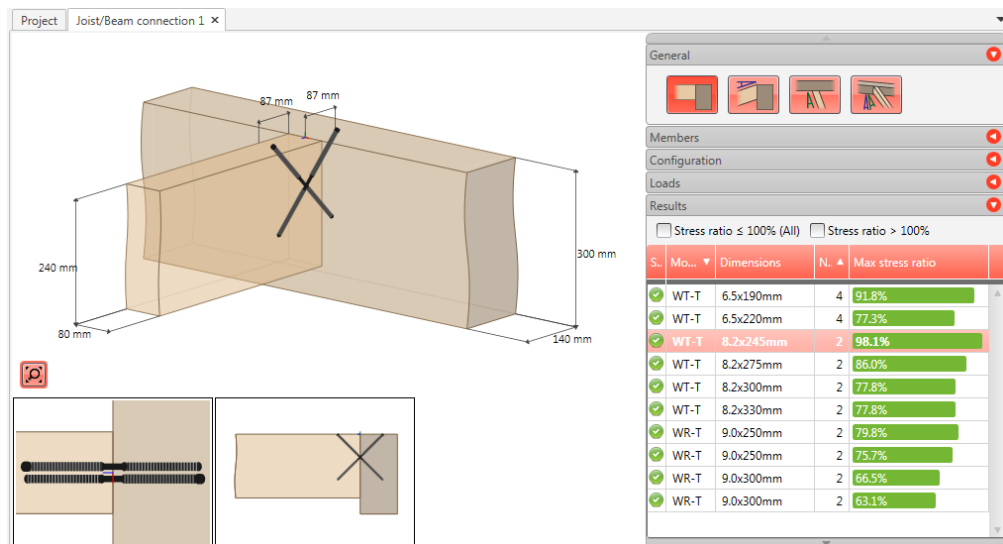


**Kuva 34. SFS Timber Work Software: Loveuksen vahvistus ruuveilla**

Liitoksen muokkausmahdollisuudet riippuvat liitoksen tyypistä. Materiaalien valinta on kaikissa liitostyypeissä monipuolinen ja puumateriaaliksi voidaan kaikissa liitostyypeissä valita sahatavaraa, liimapuuta tai LVL:ää eri lujuusluokissa. Lisäksi kappaleiden dimensioid ja mahdolliset liittyvät rakenteet, kuten esimerkiksi katon eriste voidaan määrittää melko vapaasti. Liitoksen geometrian muokattavuus riippuu liitostyypistä. Esimerkiksi kattovasan liitoksessa on mahdollista valita muun muassa kattovasan kulma palkkiin nähden, liittimien asemointi sekä yhden tai kahden liitinparin välillä, loveuksen vahvistuksessa loven muoto suorakulmaisen ja kaltevan loven välillä ja yhdistetyissä palkeissa erilaisten päällekkäisten palkki- ja levyrakenteiden välillä.

Ohjelman käyttöliittymä on selkeä ja ohjelman käyttö ilman ohjekirjaa on helppoa. Mitoitus etenee loogisesti ylhäältä alas ja ohjelma ilmoittaa selkeästi jos jonkin tarvittava lähtötieto puuttuu. Liitostyypistä riippuen liitoksesta esitetään 1-4 erilaista näkymää, joiden avulla liitoksen rakenne ja liittimien sijoittelu esitetään selkeästi. Useampaa liitosta voi työstää samaan aikaan eri välilehdillä, joten erilaisten ratkaisujen vertailu on helppoa ja tiettyyn projektiin kuuluvia eri liitostyyppejä voidaan käsitellä samanaikaisesti. Projekti ja siihen kuuluvat liitokset voidaan tallentaa myöhempää käyttöä varten.

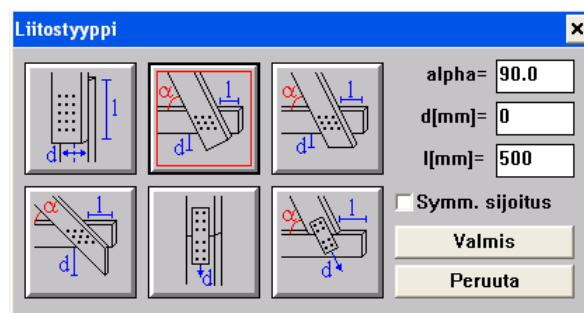
Mitoitustulokset ovat suppeat. Laskennan ohessa esitetään vain liittimien käyttöasteet, ja liitokseen sopimattomat ja sopivat liittimet on merkitty punaisella ja vihreällä. Tulosteessa on käsitelty laskentaa tarkemmin, mutta epäselväksi jää, mitä mitoituskohtia on tarkastettu ja miten liitintäisyydet on tarkistettu. Kuvassa 35 on esitetty näkymä palkin ja vasan välisestä liitoksesta ja liitokselle saaduista tuloksista.



Kuva 35. SFS Timber Work Software: Palkin ja vasan välisen liitoksen tulokset

### 5.3 DOFNAULA

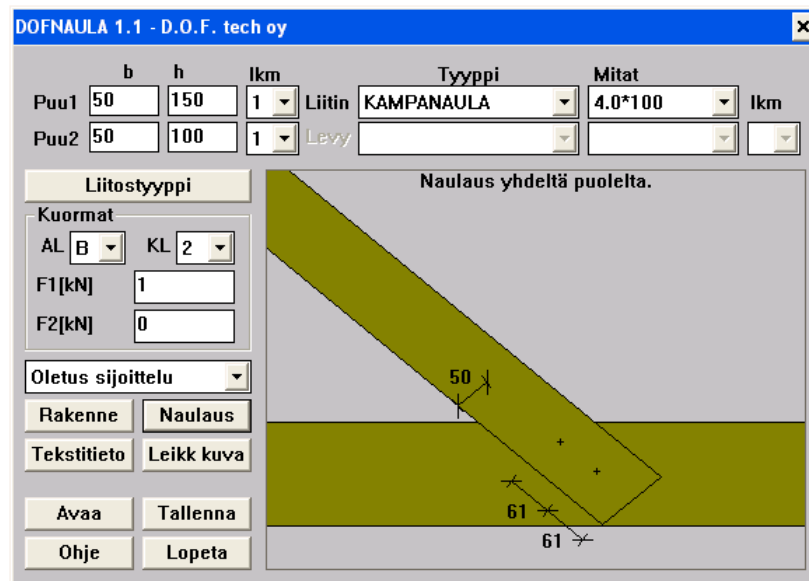
DOFNAULA on D.O.F.tech Oy:n kehittämä puuliitosten mitoitusohjelma, jonka laskenta perustuu Eurokoodi 5 -standardeja edeltäneeseen Rakentamismääräyskokoelmaan. Ohjelmalla on mahdollista mitoittaa neljää erilaista puuosien välistä leikkausliitosta ja kahta liitoslevyllistä liitosta. Ohjelman liitosvalikoima on esitetty kuvassa 36.



Kuva 36. DOFNAULA-ohjelman liitosvalikoima

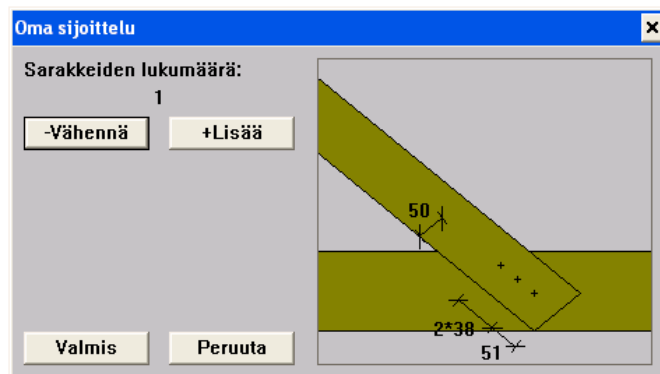
Ohjelmalla voidaan mitoittaa sahatavaran välisiä liitoksia. Ohjelman liitinvalikoimaan kuuluvat lankanaulat, pyöreät naulat, kampanaulat, ruuvit ja pultit. Käyttäjä voi itse muokata liitinvalikoimaa editoimalla ohjelman tekstimuotoista liitintiedostoa. Liitoslevyllisissä liitoksissa voidaan käyttää sahapuusta, erilaisista vanereista, lastulevystä ja metallista tehtyjä levyjä. Myös levyvalikoimaa voidaan muokata tekstimuotoisessa levytiedostossa.

Ohjelman käyttöliittymä on yksinkertainen. Puuosien dimensiot voidaan määrittellä seuraavilla rajoituksilla: puuosan paksuus saa olla korkeintaan 500 mm ja puuosan korkeus korkeintaan 1000 mm. Liitos voi koostua joko kahdesta tai kolmesta puosasta, joten myös kaksileikkeisten liitosten mitoitus on mahdollista. Liitin ja mahdollinen liitoslevy valitaan valikosta. Kuorma määritetään toisen puosan suuntaisena kuormana. Kuvassa 37 on esitetty ohjelman käyttöliittymä.



Kuva 37. DOFNAULA: Käyttöliittymä

Tuloksena ohjelman antaa ehdotuksen liittimien sijoittelulle *Naulaus*-painikeesta (kuva 37). Käyttäjä voi myös muokata liittinsijoittelua jonkin verran muuttamalla liitoksen sarakkeiden määrää (kuva 38). Tulokset ovat myös saatavissa tekstitiedostona, johon on merkitty liitoksen lähtötiedot, liittimien lasketut lujuudet, liitoksen kapasiteetti ja tarkentavia ohjeita.



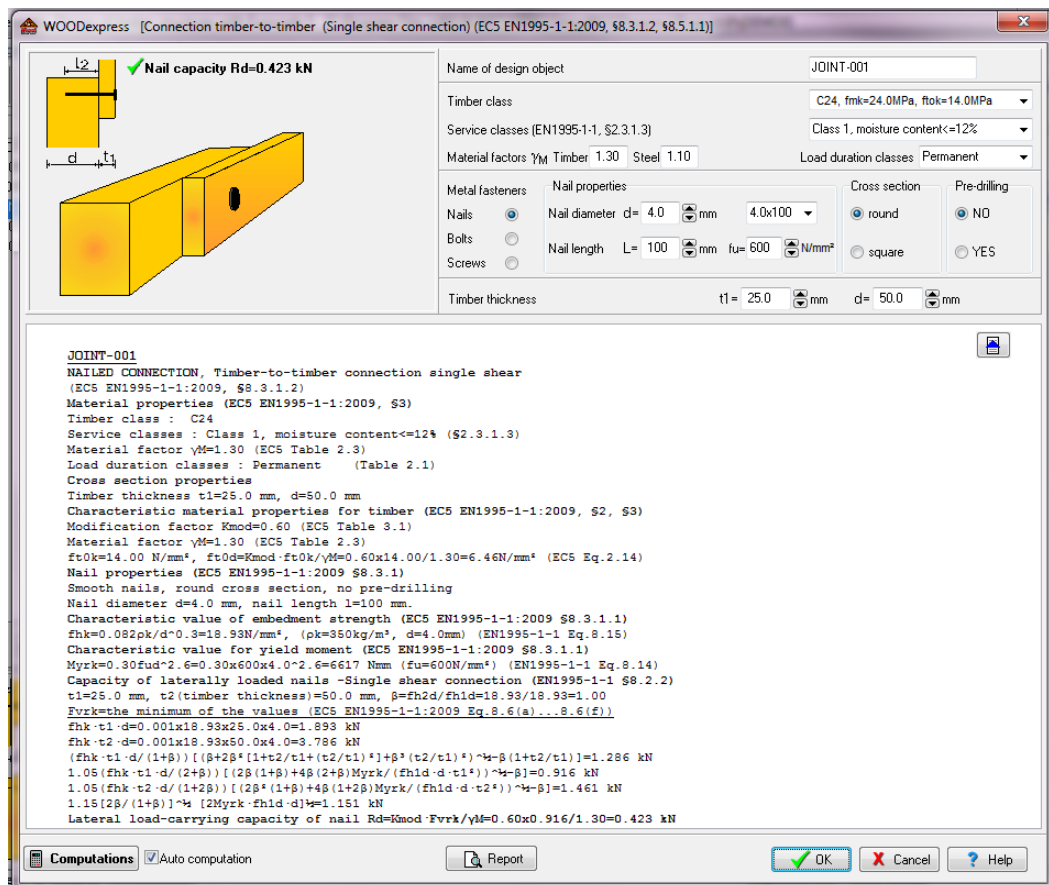
Kuva 38. DOFNAULA: Liitinryhmän sarakemäärän muokkausikkuna

## 5.4 WOODexpress

Norjalaisen RUNETsoftwaren maksullinen WOODexpress mitoittaa esimerkiksi kattoristikoiden ja -palkkeja. Lisäksi ohjelmalla voidaan mitoittaa puupoikkileikkauksien kestävyyttä esimerkiksi taivutuksessa ja puristuksessa, yksittäisen liittimen kapasiteetti puuliitoksessa, kattoristikoiden liittokseen ja kosketusliitoksia. Mitoitus tehdään Eurokoodi 5 -standardin mukaisesti ja ohjelman tarjoaa myös kattavan valikoiman eri maiden kansallisia liitteitä mitoitukseen. Tätä diplomityötä varten tarkasteltiin ohjelman demoversiota, jossa ei ole esimerkiksi sallittu tulosten tallentamista ja tulostamista, ja joillekin rakenneseosien parametreille on asetettu rajoja. Tällaisia rajoituksia on esimerkiksi katto- ja lattiapalkkien jänteille (vain pieni muutos lähtöarvosta sallittu), palonkestoaikalle, rasiusten mitoitussarvoille ja ristikoiden koolle. Liitoksissa liittimen poikkileikkauksen kokoa on rajoitettu. Demoversion raporteista puuttuvat kuvat mitoitettavasta rakenteesta.

Ohjelmassa liitostyyppinä ovat puu-puu-, puu-puulevy- ja puu-metallilevy-leikkausliitokset, neljä erityyppistä kosketusliitosta ja ristikkorakenteiden metallilevyliitokset nautoilla, pulteilla tai ruuveilla. Ristikkorakenteita lukuun ottamatta liitoksille mitoitetaan vain yksittäisen liittimen kapasiteetti. Ristikkorakenteissa mitoitetaan ristikoiden osat ja näiden väliset liitokset annetulle kuormitukselle. Ristikkorakenteiden liitoksille tarkistetaan liitososien kestävyys ja annetaan tarvittava liitinmäärä.

Ohjelman käyttöliittymä on yksinkertainen. Valittu rakennetyyppi aukeaa omaan ikkunaan, jossa määritetään rakenteen tiedot. Liitoksilla nämä ovat liitos-osien ja liittimen koot, materiaalit ja lujuudet, sekä aika- ja kosteusluokka ja osavarmuuskertoimet. Ristikoilla voidaan määrittää ristikon sauvat, kuormat sekä liitoksien metallilevyt ja liittimet. Kosketusliitoksille voidaan määrittää niiden materiaali ja geometria. Puuosien materiaaliksi voidaan valita sahatavaraa tai liimapuuta. Kuvassa 39 on esitetty esimerkki puuosien välisen leikkausliitoksen mitoituslaskennasta WOODexpress-ohjelmalla.



Kuva 39. WOODexpress: Puuosien välisen leikkausliitoksen mitoitus

Ohjelmassa on projektinhallinta ominaisuus, jolloin ohjelmassa voi samaan aikaan työstiä useampaa liitostyyppiä. Projektien ja niiden liitosten tallentaminen on mahdollista. Laskennan tulos näkyy samassa ikkunassa tekstinä ja se voidaan valita päivittyväksi sitä mukaa, kun liitoksen ominaisuuksia muutetaan. Huonosti jäsennehtynä tekstinä esitetty tulos on epäselvä. Tulosten jäsenntely on toteutettu paremmin, mutta tuloste ei tarjoa merkittävää tarkennusta ohjelmassa esitettyihin tuloksiin.

## 5.5 SømDIM

SømDIM on tanskalainen verkko-ohjelma, joka laskee liittimen kapasiteetin yksi- tai kaksileikkeisissä puu-puu- tai puu-metalli-liitoksissa. Ohjelman etusivulla valitaan mitoitettava liittostyyppi eli liittyvät osat ja liittintyyppi, jonka jälkeen avautuu sivu, jossa kapasiteetin laskenta suoritetaan. Liittostyyppiä ja liittintä voidaan vaihtaa vielä myös valikosta laskentasivulla. Liittostyyppinä on kuusi ja ne kattavat yleisimmät yksi- ja kaksileikkeiset puu- ja metallisosista koostuvat leikkausliittostyypit. Kuvassa 40 on esitetty esimerkki profiloidun naulan mitoituksesta puulevy-puuliitoksessa.

NB: SømDIM has been updated Nov. 2011, see the amendment "Tilæg 1" to "Beregning af forbindelser"

< Front page Introduction About

**SømDIM** v1.2.2

© Træinformation 2009-2012

**Choose connection:**

Panel-to timber, single shear

Threaded nail

Custom ID field

☒ Auto calculate

**Save and load values**

Nails, screws, bolts and dowels

Profiloitu

Save as Save Open Delete

Connections

puupuu

Save as Save Open Delete

**Results**

Axial load bearing capacity  $R_{ax,k} = 640 \text{ N}$

Lateral load bearing capacity (per shear plane)  $R_{v,k} = 1413 \text{ N}$

**The nail's geometri**

Diameter  $d = 4 \text{ mm}$

Length  $l = 100 \text{ mm}$

Length of threaded part  $l_r = 90 \text{ mm}$

Point length / diameter  $l_p/d = 1,5$

Head diameter / diameter  $d_{head}/d = 2$

**Plate 1**

Panel type Plywood

Density  $\rho_{11} = 450 \text{ kg/m}^3$

Thickness  $t_1 = 25 \text{ mm}$

**Timber member 2**

Strength class C18

Thickness  $t_2 = 100 \text{ mm}$

**Strength class**

Steel strength  $f_u = 600 \text{ MPa}$

Yield moment  $M_y = 6617 \text{ Nmm}$  ☒ Use EC5 value

Withdrawal strength at  $350 \text{ kg/m}^3$   $f_{ax} = 6 \text{ MPa}$  ☐ Use Danish value

Pull-through parameter in panel  $f_{head} = 10 \text{ MPa}$  ☐ Use value from TRÆ60

**Other choices**

☒  $\rho_{min} = 350 \text{ kg/m}^3$

☐ Pre-drilling

**Intermediate results**

$t_{pen} = 75 \text{ mm}$   $\rho_1 = 450 \text{ kg/m}^3$   $f_{n,1} = 32,7 \text{ MPa}$   $f_{ax,1} = 9,92 \text{ MPa}$   $f_{head} = 10 \text{ MPa}$

$l_{ef} = 69 \text{ mm}$   $\rho_2 = 350 \text{ kg/m}^3$   $f_{n,2} = 18,93 \text{ MPa}$   $f_{ax,2} = 6 \text{ MPa}$   $R_{head} = 640 \text{ N}$

$d_{ef} = 4 \text{ mm}$   $R_{wd} = 1656 \text{ N}$

Failure mode  $R_v$

	a	b	c	d	e	f
$R_v$	3266 N	5680 N	2245 N	1413 N	2411 N	1455 N

Kuva 40. SømDIM: Profiloidun naulan kapasiteetin mitoitus puulevy-puuliitoksessa

Liittimen kapasiteetin laskemista varten ohjelmalle annetaan liittimen ja liitososien koot, lujuudet ja tiheydet. Liittintyyppistä riippuen osa tiedoista voidaan antaa joko manuaalisesti tai laskea Eurokoodi 5 -standardin mukaisesti. Tällaisia arvoja ovat esimerkiksi liittimien myötömomentit ja sileiden naulojen ulosveto- ja läpivetolujuuksien ominaisarvot. Lisäksi tietyissä tapauksissa voidaan käyttää myös tanskalaisten omia laskennallisia arvoja.

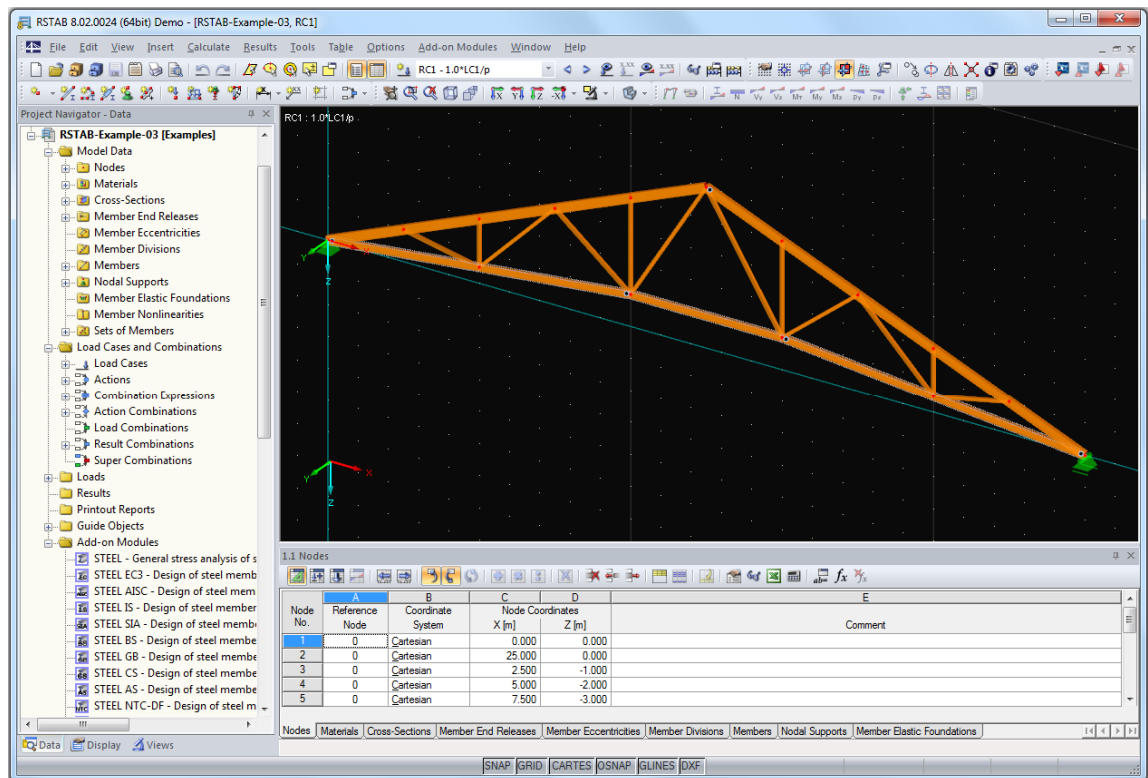
Ohjelma esittää välitulokset kuten reunapuristuslujuudet ja eri murtotapojen kestävyys selkeästi ja antaa varoituksen, jos jokin laskennan reunaehdoista ei täyty. Tällaisia tilanteita ovat esimerkiksi liian lyhyet liittimet tai liian ohut puulevy. Tuloksena ohjelma antaa liittimen leikkauskapasiteetin ja pitkittäisen kapasiteetin.

Ohjelmassa ei ole mahdollisuutta erillisen tulosteen tekemiseen, mutta määritetyt liittimet ja liitokset voidaan erikseen tallentaa myöhempää käyttöä varten. Tallennus tapahtuu selaimen evästeisiin, joten tallenteita voi käyttää vain samalla selaimella.

## 5.6 RSTAB 8.xx

Saksalaisen Dlubal-ohjelmistotalon maksulliseen RSTAB-ohjelmaan on saatavilla liitosten mitoittukseen lisäosat LIMITS ja DOWEL. RSTAB 8.xx on tarkoitettu sauvarakenteiden mallintamiseen ja mitoittamiseen. Lisäosilla ohjelman avulla voidaan mitoittaa myös puusauvojen liitoksia: DOWEL-lisäosalla levyllisiä vaarnaliitoksia ja LIMITS-lisäosalla pilari- ja palkkikenkiä. Tätä työtä varten tarkasteltiin ohjelman demoversiota, jossa tarkasteltavien rakenneseosien määrää ja lisäosien tulostusmahdollisuuksia oli rajoitettu.

Ohjelman toiminta poikkeaa huomattavasti muista tässä kappaleessa esitellyistä ohjelmista. Liitosmitoitusta varten RSTAB-ohjelmalla on ensin luotava malli liitoksen liittämistä rakenteista ja määriteltävä näille kuormat. Lisäosilla rakenteen solmukohtiin (rakenneseosien väleihin tai päihin) luodaan liitokset ja niiden mitoitus tarkistetaan. Kuvassa 41 on esitetty RSTAB ohjelman käyttöliittymä.

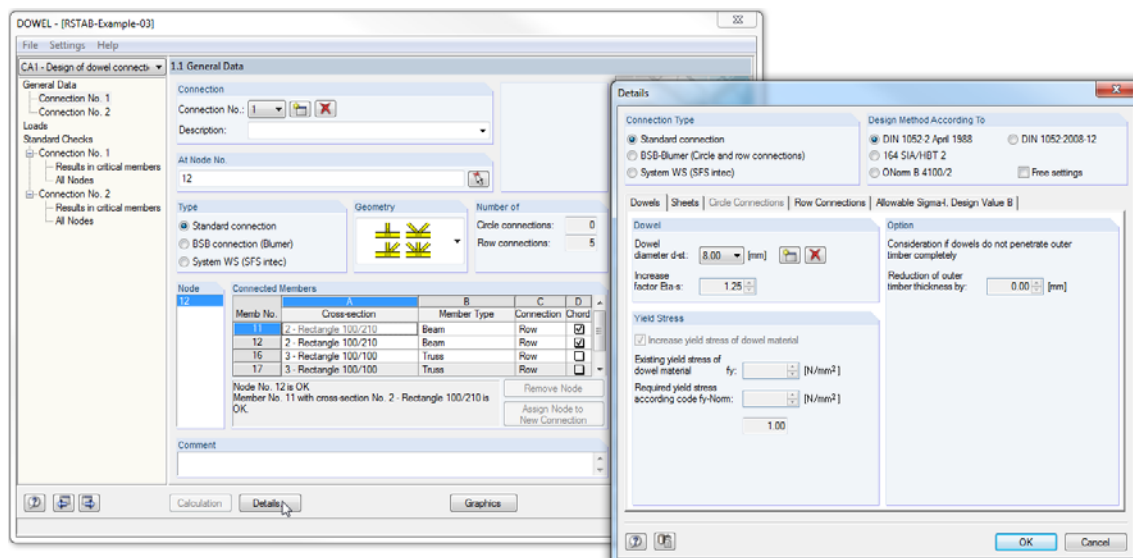


Kuva 41. RSTAB-ohjelman käyttöliittymä

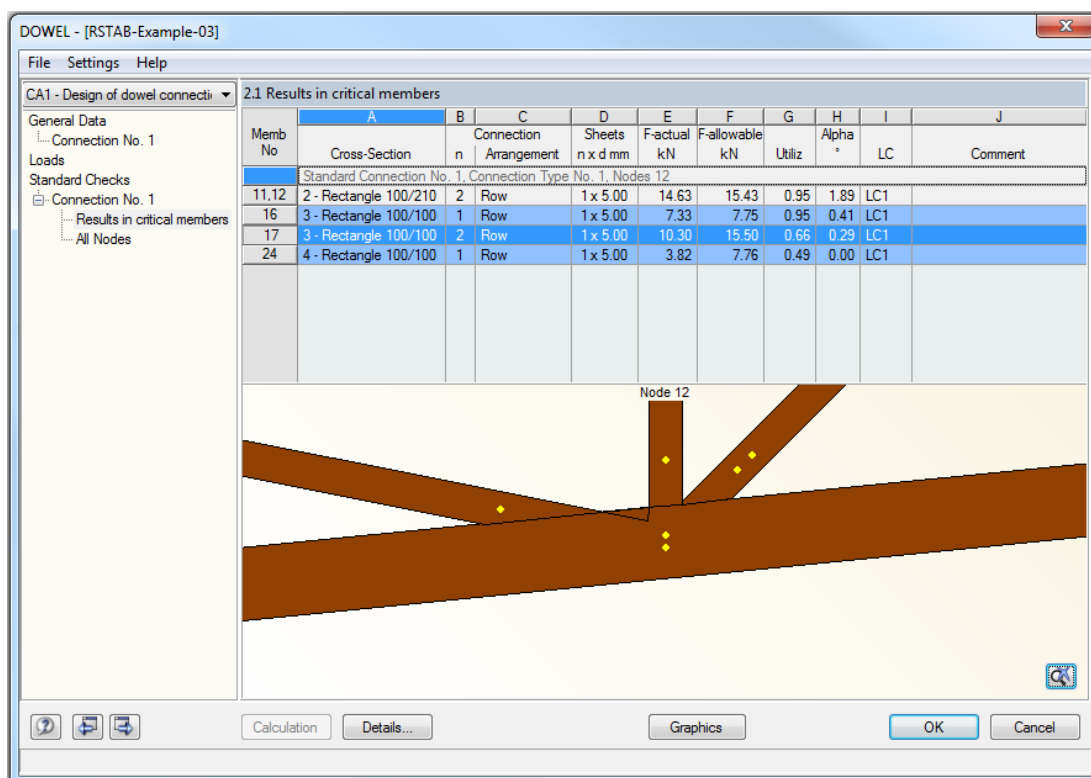
Ohjelma on monipuolinen, mutta sen käyttö liitosten mitoittukseen on huomattavasti monimutkaisempaa kuin muiden tässä työssä esiteltujen ohjelmien. Toisaalta ohjelma mahdollistaa muita laajemman valikoiman materiaaleja, ja sitä voidaan käyttää liitokselle muulta rakenteelta tulevien kuormien määrittämiseen. RSTAB:n puumateriaalivaihtoehdoista löytyy kattava valikoima erilaisia sahatavaramateriaaleja, puulevyjä ja liimapuuta. Käyttäjä voi myös määritellä uusia materiaaleja lujuusominaisuuksineen.



DOWEL 8.xx luo vaarnaliitoksia joko standardin, SFSintecin WS-systeemin tai Blumerin BSB-systeemin mukaisesti. Valittavana on erityyppisiä ristikkorakenteiden liitostyypppejä. Liitokset koostuvat vaarnaliittimistä ja metallilevyistä, joiden dimensiot ovat käyttäjän määriteltävissä. Kuvassa 42 on esitetty DOWEL-lisäosan liitoksen määrittelyyn käytettävät ikkunat. Tuloksissa ilmoitetaan kunkin liitososan liittimet ja niiden käyttöaste. Liitoksen liitinmääriä ei pystytä muuttamaan, vaan ohjelma laskee automaattisesti liitokseen tarvittavan määrän liittimiä. Kuvassa 43 on esitetty ohjelman tulokset ja ohjelman piirtämä kuva liittimien asettelusta.

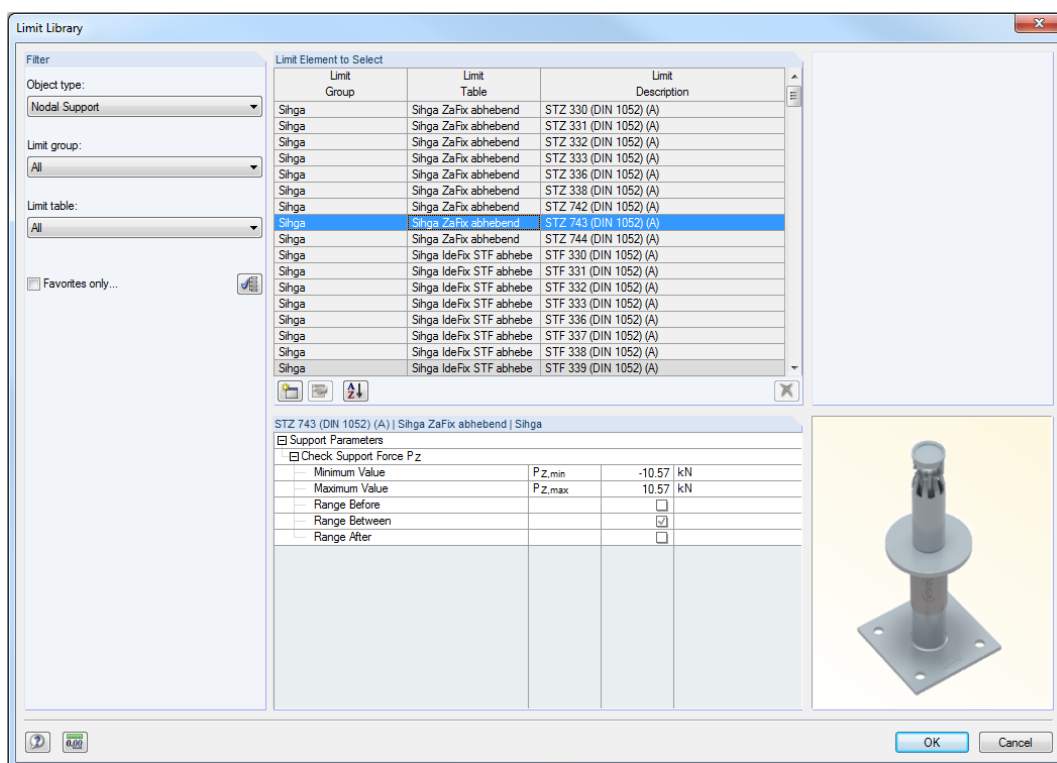


Kuva 42. RSTAB 8.xx DOWEL: Vaarnaliitoksen määrittäminen



Kuva 43. RSTAB 8.xx DOWEL: Tulokset ja liittimien asettelu

LIMITS 8.xx mitoittaa Sihgan palkki- ja pilarikenkiä. Kullekin tukipisteelle voidaan valita oma palkki- tai pilarikenkä (kuva 44). Tulokset esitetään tukipisteittäin jokaiselle käytetylle kuormalle ja kuormayhdistelmälle (kuva 45). Tulokset on mahdollista viedä Excel-taulukoksi, jolloin niistä voidaan tehdä myös tuloste.



Kuva 44. RSTAB 8.xx LIMITS: Liitososan valinta

No.	Limit No.	Object Type	Node No.	Loading No.	Symbol	Exist	Value	Minimum	Maximum	Unit	Ratio	
16	1	Nodal Support	1	RC5	P z	2.52	-10.57	10.57	kN	0.239	✓	
17	1	Nodal Support	1	LC6	P z	-2.32	-10.57	10.57	kN	0.219	✓	
18	1	Nodal Support	1	RC6	P z.min	-2.32	-10.57	10.57	kN	0.219	✓	
19	1	Nodal Support	1	RC6	P z.max	0.00	-10.57	10.57	kN	0.000	✓	
20	1	Nodal Support	1	LC7	P z	-2.32	-10.57	10.57	kN	0.219	✓	
21	1	Nodal Support	1	RC7	P z.min	-2.32	-10.57	10.57	kN	0.219	✓	
22	1	Nodal Support	1	RC7	P z.max	0.00	-10.57	10.57	kN	0.000	✓	
23	1	Nodal Support	1	LC8	P z	2.52	-10.57	10.57	kN	0.239	✓	
24	1	Nodal Support	1	RC8	P z.min	0.00	-10.57	10.57	kN	0.000	✓	
25	1	Nodal Support	1	RC8	P z.max	2.52	-10.57	10.57	kN	0.239	✓	
26	1	Nodal Support	1	RC9	P z.min	12.36	-10.57	10.57	kN	1.169	✗	
27	1	Nodal Support	1	RC9	P z.max	27.95	-10.57	10.57	kN	2.644	✗	
28	1	Nodal Support	1	RC10	P z.min	10.62	-10.57	10.57	kN	1.005	✗	
29	1	Nodal Support	1	RC10	P z.max	23.86	-10.57	10.57	kN	2.257	✗	
30	1	Nodal Support	1	RC11	P z.min	9.28	-10.57	10.57	kN	0.878	✓	
31	1	Nodal Support	1	RC11	P z.max	19.67	-10.57	10.57	kN	1.861	✗	
32	1	Nodal Support	1	RC12	P z.min	8.13	-10.57	10.57	kN	0.769	✓	
33	1	Nodal Support	1	RC12	P z.max	16.95	-10.57	10.57	kN	1.604	✗	
34	2	STF 333 (DIN EN 1995-1-1) (A)   Sihga IdeFix STF abhebe   Sihga										
35	2	Nodal Support	13	LC1	P z	7.62	-16.23	16.23	kN	0.470	✓	
36	2	Nodal Support	13	RC1	P z.min	7.62	-16.23	16.23	kN	0.470	✓	
37	2	Nodal Support	13	RC1	P z.max	7.62	-16.23	16.23	kN	0.470	✓	
38	2	Nodal Support	13	LC2	P z	5.63	-16.23	16.23	kN	0.347	✓	
39	2	Nodal Support	13	RC2	P z.min	0.00	-16.23	16.23	kN	0.000	✓	
40	2	Nodal Support	13	RC2	P z.max	5.63	-16.23	16.23	kN	0.347	✓	
41	2	Nodal Support	13	LC3	P z	2.81	-16.23	16.23	kN	0.173	✓	
42	2	Nodal Support	13	RC3	P z.min	0.00	-16.23	16.23	kN	0.000	✓	
43	2	Nodal Support	13	RC3	P z.max	2.81	-16.23	16.23	kN	0.173	✓	
44	2	Nodal Support	13	LC4	P z	5.63	-16.23	16.23	kN	0.347	✓	
45	2	Nodal Support	13	RC4	P z.min	0.00	-16.23	16.23	kN	0.000	✓	
46	2	Nodal Support	13	RC4	P z.max	5.63	-16.23	16.23	kN	0.347	✓	
47	2	Nodal Support	13	LC5	P z	2.29	-16.23	16.23	kN	0.141	✓	
48	2	Nodal Support	13	RC5	P z.min	0.00	-16.23	16.23	kN	0.000	✓	
49	2	Nodal Support	13	RC5	P z.max	2.29	-16.23	16.23	kN	0.141	✓	

Kuva 45. RSTAB 8.xx LIMITS: Tulokset

RSTAB 8.xx -ohjelmaa ei ole varsinaisesti suunniteltu liitosmitoitushjelmaksi, joten sen liitosmitoitussisäosien sisältö on varsin suppea. Liitosvalikoimaksi on rajoittunut ristikoiden liitokset ja palkki- ja pilarikenkäliitokset tietyn valmistajan valikoimalla. Pelkän liitosmitoituksen tekemiseen ohjelman käyttöliittymä on muihin ohjelmiin verrattuna erittäin monimutkainen, mutta esimerkiksi liitokseen kohdistuvat voimat voidaan RSTAB 8.xx -ohjelman avulla selvittää ilman erillistä laskentaa.

## **5.7 Yhteenveto liitosmitoitushjelmien ominaisuuksista**

Taulukossa 3 on esitetty yhteenveto eri liitosmitoitushjelmien ominaisuuksista.

**Taulukko 3. Yhteenveto liitosmitoitushelmien ominaisuuksista 1/2**

	Würth-mitoitusohjelmat	SFS Timber Work Software	DOFNAULA	WOODexpress Demo	SomDIM	RSTAB 8.xx
Mitoituskohteet	1- tai 2-leikkainen ruuviliitos Pääpalkin ja sekundääripalkin välinen liitos	Katon eristeen kiinnitys Kattovasan kiinnitys palkkiin (eri kulmissa) Mekaanisesti yhdistetyt kaksois- ja kolmoispalkit Ripustusliitoksen vahvistus Loveuksen vahvistus	1- tai 2-leikkeisten puu-puu-liitoksen leikkaus ja liitoslevyllisen liitoksen leikkauskapasiteetti Liittimen aksiaalinen kapasiteetti ja leikkauskapasiteetti	Yksittäisen liittimen kapasiteetin mitoitus 1- tai 2- leikkeissä liitoksessa 4 erityyppistä kosketusliitosta Ristikkorakenteiden metallilevyliitokset	Yksittäisen liittimen leikkaus- ja aksiaalisen kapasiteetin mitoitus 1- tai 2- leikkeissä puu-puu-, puu-puulevy- ja puu-metalliliitoksissa	Vaarnatappiliitosten mitoitus Pilari- ja palkkikien mitoitus
Mitoitusperusteet	DIN 1052 EC5 (D) EC5 (A) EC5 (FR)	ÖNORM EN-1995-1-1:2009-07 CSN EN 1995-1-1:2004+A1 NF EN 1995-1-1:2005-11+A1 DIN EN 1995-1-1:2010-12 UNI EN 1995-1-1:2009	RakMK 10	EN-1995-1-1:(2009)	EN 1995-1-1 + A1 DK NA	Dowel 8.xx: DIN 1052, SIA 164, ÖNorm B1400 Limits 8.xx: DIN 1052, EC 5 + Kansalliset liitteet
Liitososat	Sahatavara, liimapuu ja metalli	Sahatavara, liimapuu, LVL	Puu, sahapuu ja vaneri	Sahatavara, liimapuu, puu- ja metallilevyt	Sahatavara, liimapuu, puu- ja metalli levyt	Sahatavara, liimapuu, oma materiaali
Liitoksen muokkaus	Liitoksen osien ja liittimien sekä liitoksen kulman monipuolinen määrittely	Monipuolinen liitoksen kulmien, materiaalien ja liitostyyppien määrittely	Liitoksen osien ja liittimien sekä liitoksen kulman määrittely	Liitoksen osien ja liittimien määrittely	Liitoksen osien ja liittimien valinta mahdollista	Liitoksen osien ja liittimien valinta mahdollista
Kuormitus	Leikkauskuorma Aksiaalinen kuorma	Mitoituskuorma Pysyvä ja muuttuva kuorma ja varmuuskertoimet Karakteristiset kuormat ja kestot	Puun synn suuntainen vetävä tai puristava voima	Leikkausliitoksille ei kuormitusta Ristikorakenteiden karakteristiset kuormat	Ei kuormitusta	Vapaasti määritettävät kuormat ja kuormayhdistelmät rakenteelle Liitokseen kohdistuvia kuormia ei voi yksilöidä
Liitinvälikoima	Würthin ASSY-ruuvit	SFS Intec ruuvit	Valmiita ja käyttäjän määrittelemiä nauloja, ruuveja ja pultteja	Vapaasti määriteltävät naulat, ruuvit ja pultit	Vapaasti määriteltävät naulat, ruuvit, pultit ja tappivaarnat	Sihgan palkki- ja pilarikienkiä Tappivaarnat

Taulukko 3. Yhteenveto liitosmitoitushelmien ominaisuuksista 2/2

	Würth-mitotusohjelmat	SFSintec	DOFNAULA	WOODexpress Demo	SomDIM	RSTAB 8.xx
Tulokset	Mitotusehdot täyttävät liittimet merkitty vihreällä ja muut punaisella  Liittimen aksiaalinen kapasiteetti ja leikkauskapasiteetti	Mitotusehdot täyttävät liittimet merkitty vihreällä ja muut punaisella  Ei merkintää, mitä mitotusehtoja on käytetty	Tekstinä lähtötiedot, lujitukset, kapasiteetit ja liittinten lukumäärä	Tekstinä: Reunapuristuslujuudet Myöömomentin ominaisarvo Liittimen leikkauskapasiteetti välituloksineen	Liittimen leikkaus- ja aksiaalinen kapasiteetti ja välitulokset	Liitosten käyttöasteet
Tulosteet	Laskennan lähtötiedot, reunapuristuslujuudet, minimietäisyydet, kapasiteetit ja käyttöasteet	PDF-tuloste lähtötiedoista ja mitoitustuloksista	Sama kuin tuloksissa	Mitoituksen lähtötiedot ja tulokset paremmin muotoiltuina kuin tuloksissa	Ei tulosteita	Demoversiossa liitoksille ei saatu tulosteita
Ohjeet	Ei ohjeita	Ei ohjeita	Kattavat ohjeet ohjelman käyttöön	Erittäin kattava ohjekirja	Yksinkertaiset käyttöohjeet	Ei erillistä ohjetta lisäosan käyttöön
Käyttöliittymä	Selkeä vasemmalta oikealle tapahtuva mitoitus, jossa mitoituksen eri vaiheet on jaettu loogisiin osiin	Selkeä ylhäältä alas etenevä mitoitus, jossa mitoituksen vaiheet on jaettu loogisiin osiin	Yksinkertainen käyttöliittymä	Yksinkertainen käyttöliittymä	Yksinkertainen käyttöliittymä	Monimutkainen käyttöliittymä, jonka käyttö liitosmitoituksessa ilman ohjeita on vaikeaa
Liitoksen esitys	Dynaaminen kierrettävä 3D-kuva	Dynaaminen 3D-kuva vaihdettavilla näkymillä	Dynaaminen perspektiivikuva rakenteesta ja liitoksesta	Staatinen perspektiivikuva	Staatinen leikkauskuva	Staatinen kuva liitinsijoittelusta
Asennus	Verkko-ohjelma	Kovalevyille asennettava	Kovalevyille asennettava	Kovalevyille asennettava	Verkko-ohjelma	Kovalevyille asennettava

## **5.8 Kehitysideat mitoitushjelmakartoituksen pohjalta**

### **5.8.1 Mitoitusprosessi**

Useammassa ohjelmassa liitoksen ja mitoitustilanteen määrittely etenee joko vasemmalta oikealle tai ylhäältä alas pienissä osissa. Esimerkiksi liitoksen osien dimensiot ja materiaalit määritetään omassa kohdassaan ja liitokseen kohdistuva kuorma omassa kohdassaan. Mitoituksen määrittämisen jakaminen pienempiin osiin säästää ruutupinta-alaa, koska kaiken informaation ei tarvitse olla näkyvissä samanaikaisesti. Ohjelmaa kehitettäessä tulee varmistaa, että mitoitusprosessi on jaettu luonteviin osiin ja, että se etenee loogisesti.

### **5.8.2 Liitoksen esitystapa**

Liitos voidaan esittää ohjelmassa erilaisilla tavoilla. Kartoituksessa selvästi esiin tuli kaksi ominaisuutta, kuvan dimensiot ja sen dynaamisuus, joiden perusteella liitoksen esitystapaa voidaan arvioida. Würthin ja SFS intecin ohjelmat esittivät liitoksen läpikuultavana kolmiulotteisena kuvana, josta on helppo hahmottaa liitoksen osat ja liittimien sijoittelu liitoksessa. Würthin ohjelmassa liitoksen 3D-kuvaa on myös mahdollista kääntää, jolloin liitosta voi tarkastella eri kulmista. SFS Intecin ohjelmassa on mahdollista valita kolmen eri näkymän välillä, joissa esitetään liitos kolmiulotteisena, sekä leikkauskuvat kahdesta eri suunnasta. Würthin, SFS intecin ja D.O.F. techin ohjelmissa kuvan dimensiot myös päivittyvät liitoksen määrittelyjen mukaisesti.

Liitos tulisi siis pyrkiä esittämään mahdollisimman selkeästi. Erityisesti liitoksen dimensiot ja esimerkiksi reuna- ja liitinetäisyydet on syytä merkitä ymmärrettävästi. Liitoksesta tulisi myös tarjota useampi näkymä, jotta liitinten asema liitoksessa olisi mahdollisimman havainnollinen. Lisäksi liitoksen dimensioiden pitäisi päivittyä, jotta kuvasta voi heti nähdä ovatko liitoksen mitat järkevät.

### **5.8.3 Liitoksen muokkaus**

Würthin, SFS Intecin ja Doftechin ohjelmissa on mahdollista valita laajasti liitoksen osat ja niiden väliset kulmat. Liitoksen tulee olla mahdollisimman laajasti muokattavissa, jotta ohjelma olisi mahdollisimman monipuolinen. Muokkautuvuus näkyy esimerkiksi materiaalivalinnoissa, liitoksen osien välisessä kulmassa, kuormien, asetusten ja liittintyyppien valinnassa. Liitostyypeille voidaan antaa myös vaihtoehtoisia rakenteita, joiden väliltä käyttäjä voi valita sopivan toteutustavan. Vaihtoehtoiset toteutustavat tulisi kerätä saman liittintyyppin alle. Esimerkiksi ulkopuoliset ja sisäpuoliset liitoslevylliset kontaktiliitokset voitaisiin toteuttaa saman liittintyyppin alla, jolloin käyttäjälle tarjotaan valikko, josta valitaan liitoksen haluttu rakenne.

Liitinvalikoimaa ei ole mitään syytä rajoittaa. Liitinten valmistajilta voidaan kerätä liittimiä liittintietokantaan ja käyttäjälle voidaan antaa valmiita standardinauloja valittavaksi, mutta käyttäjän tulisi myös pystyä itse säätämään liittimien parametreja.

### **5.8.4 Liitinten valinta**

Vain DOFNAULA:ssa on mahdollista vaikuttaa laajemmin myös liittimien määrään ja liittinsijoitteluun. Muissa liitinryhmää mitoittavissa ohjelmissa liitinten määräksi voi valita vain yksi tai kaksi liitintä (Würth) tai yksi, kaksi tai neljä liitintä (SFS Intec) lukuun ottamatta SFSintec-ohjelman katon eristeiden kiinnitystä ja yhdistettyjä

palkkeja, joille lasketaan automaattisesti tarvittava liitinmäärä eri liitintyypeille. DOFNAULA laskee tarvittavan liittimien määrän ja tekee niille oletussijoittelun. Käyttäjä voi muokata liitinryhmän sarakkeiden määrää ja tätä kautta osittain liitoksen liitinmäärää sallittujen reuna- ja liitinetäisyyksien puitteissa.

Liitoksen määrittelyn tulisi olla mahdollisimman vapaata eli liitinten määrään ja liitinryhmän muotoon pitäisi voida vaikuttaa, jotta ohjelmasta saatava hyöty olisi suurin. Liitosryhmän muodolla voidaan vaikuttaa esimerkiksi liitoksen asennettavuuteen, joten liitoksen muodon hallinta on tärkeä ominaisuus.

### **5.8.5 Tulokset ja tulosteet**

Tulosten selkeyteen on selvästi syytä kiinnittää erityistä huomiota, sillä kaikkien ohjelmien tuloksissa ja tulosteissa ilmeni puutteita. Tulokset ovat joko liian suppeat antamaan luotettavan kuvan mitoituksista (esitetään vain mitoitus ehdot täyttävät liittimet ja niiden kapasiteetit) tai epäselkeät (tulokset esitetään vain pitkänä tekstinä).

Tuloksista tulisi ilmetä selkeästi eri osien mitoistulokset ja mitä ominaisuuksia mitoitettaessa on otettu huomioon. Tulosten pitäisi siis kattaa muun muassa liitoksen eri osien kestävyys (liittimet, puuosat, metalliosat), eri murtotyyppien tarkastus (puustamurto/lohkeaminen, poikittainen ja pitkittäinen rasitus) ja esimerkiksi liitinten sijoittelun raja-arvot. Tuloksista käyttäjän on saatava selkeä kuva siitä, mitä hän on mitoitamassa, mitä asioista mitoituksessa on huomioitu ja mitkä ovat olleet mitoituksen tulokset.

Myös tulosteiden laatuun tulisi kiinnittää erityistä huomiota. Tulosteen tason tulisi olla sellainen, että sitä voidaan sellaisenaan käyttää osana tarvittavia suunnitteluasiakirjoja. Tulosteeseen voidaan esimerkiksi toteuttaa liitoksesta esitys, joka sellaisenaan kelpaa osaksi rakennepiirustuksia.

## 6 Liitosmitoitusohjelman kehittäminen Kerto-tuotteille

### 6.1 Ohjelmistokehitysprosessi

Yhtä selkeää tapaa viedä ohjelmistokehitysprojekti alusta loppuun ei ole tunnistettu. Yleisinä ongelmina projekteissa pidetään yleensä ohjelman kehittämiseen tarvittavien resurssien arviointia, muuttuvia vaatimuksia, ohjelman testausta ja ylläpitoa sekä asiakkaan luottamuksen säilyttämistä. (22 s. 1)

Ohjelmistokehitysprosessin hallinnan ja tarvittavien resurssien arvioinnin parantamiseksi on tunnistettu kaksi ratkaisutapaa: huomion kiinnittäminen projektin suunnitteluun sekä käytettävän ohjelmistokehitysprosessimallin määrittäminen ja noudattaminen. Ohjelmistokehitysprojektin suunnittelua parantamalla pyritään saavuttamaan mahdollisimman realistinen arvio tarvittavista resursseista, projektiin kuluva ajasta ja kustannuksista. Projektinhallintaa voidaan pyrkiä parantamaan valitsemalla sopiva ohjelmistokehitysprosessimalli, jonka avulla kehitysprosessia ohjataan. (23 s. 2)

#### 6.1.1 Ohjelmistokehitysprojektin suunnittelu

Ohjelmistokehitysprojektia varten arvioidaan usein ohjelmiston kehitykseen kuluva työmäärä ja sen kustannukset, mutta tarvittavien resurssien arviointia pidetään yleisesti hankalana ja projektien viivästymistä yleisenä. Moløkken ja Jørgensen ovat pyrkineet kokoamaan ohjelmistokehitysprojektin työmäärä- ja kustannusarvioita koskevien tutkimusten tuloksia yhteiseksi kattavammaksi tutkimukseksi (24). Yksittäiset tutkimukset oli toteutettu kyselytutkimuksina ohjelmistoalan yrityksiltä, projekteilta, ammattilaisilta tai näiden yhdistelmiltä. Yksittäisten tutkimusten arveltiin olevan mahdollisesti puolueellisia ja tavoitteellisia, joten tavoitteena oli selvittää projektien toteutumista suunnitelmien mukaisesti laajemmalla tasolla. Tutkimuksessa pyrittiin vastaamaan seuraaviin ohjelmistokehitysprojektin suunnitteluvaihetta ja tuloksia koskeviin kysymyksiin (24 s. 2):

1. Miten paljon ohjelmistokehitysprojektien lopputulos poikkeaa alun perin arvioidusta, kun huomioidaan kustannukset, ajankäyttö ja saavutettu toiminnallisuus?
2. Mitä menetelmiä käytetään arvioimaan ohjelmistokehityksen työmäärää ja kustannuksia ja poikkeavatko näiden menetelmien tulokset toisistaan arvioinnin tarkkuudessa?
3. Kuinka tärkeänä tarkkaa työmäärä- ja kustannusarvioita pidetään ja pidetäänkö arvioiden tarkkuutta ongelmana?
4. Mitkä ovat tärkeimmät syyt ohjelmistokehitysprojektin poikkeamiseen alkuperäisestä suunnitelmasta?

Vaikka käytettyjen tutkimuksien tulokset poikkesivat toisistaan, havaittiin suurimman osan projekteista (60-80 %) ylittävän alkuperäisen aikataulun, kustannusarvion tai molemmat. Keskimääräisen ylityksen todettiin olevan 30-40 %. (24 ss. 4-5)

Tutkimuksessa esille tulleet työmäärän ja kustannusten arviointimenetelmät jaettiin kolmeen ryhmään: asiantuntijapohjaiset, mallipohjaiset ja muut arviointimenetelmät. Asiantuntijapohjaiset arviointimenetelmät voivat olla esimerkiksi edeltäviin projekteihin vertailu muistin tai dokumentoinnin perusteella. Mallipohjaiset menetelmät käyttävät hyödykseen erilaisia tarkoitukseen kehitettyjä algoritmeja ja muut menetelmät



ovat menetelmiä, jotka eivät ole varsinaisia arviointimenetelmiä, vaan muita menetelmiä, joita on sovellettu ohjelmistoprojektin työmäärän ja kustannuksien arviointiin. Asiantuntijapohjaisten arviointimenetelmien käytön todettiin olevan merkittävästi yleisempää kuin mallipohjaisten menetelmien käytön, eikä tutkimuksessa tullut esille yhtäkään yksittäistä tutkimusta, jossa mallipohjaisten arviointimenetelmien käyttö olisi ollut yleisempää. Asiantuntijapohjaisten menetelmien arvioitiin olevan käytetympiä joustavuutensa ja helppoutensa vuoksi ja siksi, ettei tutkimuksissa ole voitu osoittaa mallipohjaisten menetelmien olevan tehokkaampia. (24 ss. 5-6)

### **Liitosmitoitushjelman kehitysprosessin suunnittelu**

Liitosmitoitushjelman kehitysprosessin arvioinnissa käytettiin aikaisempaa kokemusta esimerkiksi Finnwood-ohjelman kehityksestä. Ohjelman ohjelmointityöhön tarvittavaa aikaa arvioitiin esimerkkiliitoksen perusteella. Alkuperäinen arvio yhden liitoksen vaatimasta ohjelmointiajasta oli noin yksi työviikko, mutta arvion tekemisessä käytettiin yksinkertaistettuja laskentamenetelmiä Metsä Woodin liitoslaskentakorteista. Tarkat laskentamenetelmät osoittautuivat huomattavasti monimutkaisemmiksi toteuttaa, joten yksittäisen liitostyyppin toteuttamisen ohjelmaan todettiin vievän useampia viikkoja testauksineen.

Liitosten toteuttamisen liitosmitoitushjelmaan todettiin siis olevan oletettua hitaampaa, joten tavoitteeksi otettiin yhden liitostyyppin toteuttaminen ja täydellinen testaaminen diplomityön puitteissa. Muiden liitostyyppien lisääminen toteutetaan tämän jälkeen. Työmäärän voidaan muissa standardiliitoksissa olettaa olevan hieman pienempi, koska suurimmat mitoitukseen liittyvät epäselvyydet ja ongelmat on jo ratkaistu. Ohjelman ensimmäiseen julkaisuversioon päätettiin sisällyttää kahdeksan liitostyyppiä, jotka edustaisivat Kertotuotteilla tehtäviä liitoksia monipuolisesti. Liitosten valintaa ohjelmaan on käsitelty tarkemmin luvussa 2.3.

Projektin suunnitteluun kuului myös työtehtävien kartoittaminen ja työnjaon selventäminen. Diplomityön osuuteen määriteltiin seuraavat tehtävät:

- Ohjelman valikkorakenteen määrittäminen
- Käyttöliittymän suunnittelu
- Liitostyyppien mitoituksen määrittely
- Testaussuunnitelma
- Testaus
- Dokumentoinnin luominen määrittelyistä ja testauksesta

Ohjelmointityö tilattiin Metsä Woodin ulkopuoliselta konsultilta D.O.F.tech Oy:stä. Ohjelmointityö käsittää koko ohjelman ohjelmoinnin määrittelyiden perusteella. Testauksessa päätettiin käyttää apuna työn ohjaajan TkT Ari Kevarinmäen kokemusta liitosmitoituksessa. Liitosten mitoituksen määrittelyt ja liitosmitoitushjelma päätettiin tarkastuttaa Kevarinmäellä, jotta mahdolliset mitoitushjeiden tulkintavirheet saataisiin karsittua ohjelmasta pois. Myös Metsä Woodin tutkimus- ja kehitysosaston henkilöstöä päätettiin hyödyntää testauksessa. Näin ohjelmasta saataisiin testauspalautetta, joka perustuu oikeita käyttötilanteita vastaaviin tilanteisiin.

## **6.2 Ohjelmistokehitysprosessimallit**

Ohjelmistokehitysprosessimallit ovat ohjelmiston kehityksen hallintaan liittyviä työkaluja, joiden avulla pyritään mahdollisimman tehokkaaseen ohjelmiston kehitykseen. Mallien tavoitteena on tehdä ohjelmistokehityksestä nopeaa,

järjestelmällistä, johdonmukaista ja selkeää. Malleilla kuvataan ohjelmistokehitysprosessin eri vaiheita ja sen etenemistä.

Yksinkertaisimmillaan ohjelmistokehitysprosessi voi koostua vain kahdesta vaiheesta: analyysi ja ohjelmointityö. Tällainen malli on mahdollinen, jos kehitettävä ohjelma on hyvin pieni, ja se tehdään yrityksen sisäiseen käyttöön. Tällöin ohjelman tekijät ovat yleensä sen loppukäyttäjiä, joten esimerkiksi laajalle testaukselle ja käyttäjäpalautteen keräämiselle ei ole tarvetta. (25 s. 1)

Monimutkaisemmissa ohjelmistokehitysprosesseissa voidaan käyttää esimerkiksi seuraavaa vaihejakoa (25 ss. 1-2):

- Järjestelmävaatimusten määrittely
- Ohjelmistovaatimukset
- Analyysi
- Ohjelman suunnittelu
- Ohjelmointityö
- Testaus
- Käyttöönottotoiminnot

Ohjelmiston julkaisun jälkeen ohjelmaa on usein vielä ylläpidettävä. Tämä saattaa sisältää muun muassa löydettyjen virheiden korjaamista ja sisällön päivittämistä joko muuttuneiden vaatimusten mukaiseksi tai entistä laajemmaksi.

Ohjelmistokehitysprosessimalleilla kuvataan myös miten eri vaiheista liikutaan toiseen. Perinteinen jako erilaisten mallien välillä on ollut vaiheittaisten ja joustavien mallien välillä. Vaiheittaisissa malleissa kuten perinteisissä vesiputousmalleissa (waterfall models) vaiheesta toiseen edetään järjestyksessä niin, että edeltävät vaiheet on suoritettu loppuun ennen seuraavaa vaihetta. Vesiputousmalleille tyypillistä on se, että niiden avulla tuotetut ohjelmat esitellään asiakkaalle ensimmäisen kerran vasta projektin lopussa. (22 s. 2)

Tästä poikkeavia ovat iteratiiviset ja inkrementaaliset kehitysmallityypit (iterative and incremental development tai IID), joille ominaista on se, että vaiheesta toiseen edetään vaikka edellinen vaihe ei ole vielä täysin valmis ja, että aikaisempiin vaiheisiin palataan ja niitä korjataan tarvittaessa myöhemmistä vaiheista saadun palautteen perusteella. (26 s. 7)

Iteraatiivisissa ja inkrementaalisissa malleissa projekti jaetaan osaprojekteihin (iteraatioihin tai inkrementteihin) ja koko projekti koostuu osaprojektien sarjasta. Projektin osaprojektien tulisi olla mahdollisimman itsenäisiä toimivia osia projektista. Osaprojekti toimitetaan asiakkaalle arvioitavaksi sen valmistuttua ja osaprojektista saatavaa palautetta käytetään seuraavien osaprojektien suunnittelussa. (22 s. 3) (26 s. 7)

IID:tä noudattavan ohjelmistoprojektin järjestelmä- ja ohjelmistovaatimukset ja ohjelman suunnitelmat voidaan ”jäädyyttää” projektin alkuvaiheessa niiden määrittelyn jälkeen, mutta evoluutiomallien keskeinen edellytys on, että myös ohjelmalle asetettuja vaatimuksia ja jo tehtyjä suunnitelmia voidaan iteratiivisen ohjelmistoprojektin aikana tarvittaessa muuttaa. Ohjelma jaetaan pienempiin osiin, jolloin ohjelmasta julkaistaan asiakkaalle useita kehitysversioita ennen ohjelman lopullista valmistumista. Asiakkaalta saatu palaute huomioidaan seuraavan kehitysversion suunnittelussa. (26 s. 10)

Ketterät ohjelmistokehitysprosessimallit (agile models) noudattavat evoluutiomallien periaatteita aikaisista ja toistuvista kehitysversioiden toimituksista asiakkaille sekä suunnitelmien ja vaatimusten kehittämistä kehitysversioiden ohjelmoinnin ohessa.

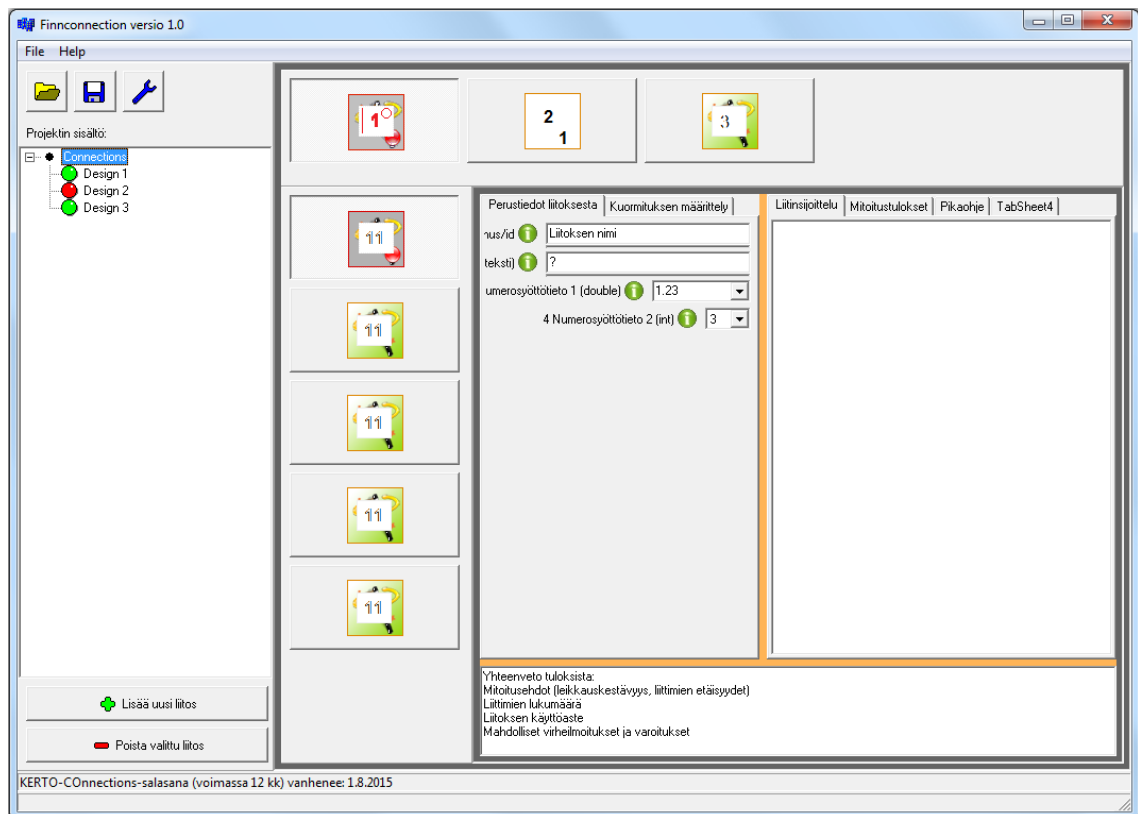
Lisäksi painotetaan erityisesti kommunikaation, yksinkertaisuuden ja omatoimisuuden tärkeyttä projektissa. (26 s. 17) Ketteriä prosessimalleja on useita ja niistä jokainen toteuttaa ketterän mallin periaatteita omalla tavallaan. Esimerkiksi kommunikaatiota painotetaan *Scrum*-mallissa päivittäisillä tapaamisilla, joiden pituus pidetään kuitenkin lyhyenä ja *XP*-mallissa yhteisillä työskentelytiloilla sekä asiakkaiden jatkuvalla läsnäololla.

Ohjelmistokehitysprosessimallin vaikutusta ohjelmistoprojektin onnistumiseen on tutkittu jonkin verran. Moløkkenin ja Jørgensenin tutkimuksessa havaittiin, että iteratiivisia ja inkrementaalisia malleja noudattavat projektit ylittivät käytettyjen resurssien määrän arvioidusta harvemmin kuin vaiheittaisia malleja käyttävät projektit. Merkittäviä eroja käytetyn mallin vaikutuksesta projektin suunnittelun aikataulun ylitykseen ei havaittu. (23 s. 9)

### 6.2.1 Liitosmitoitushjelman kehitysprosessi

Liitosmitoitushjelman kehitys ensimmäisessä vaiheessa tehtiin pääasiallisesti kahden henkilön kesken, jotka molemmat hoitivat projektin aikana myös muita työtehtäviä. Diplomityöhön kuuluivat ohjelmistoprojektin suunnittelu ja hallitseminen, ohjelmiston vaatimuksien ja sisällön määrittäminen sekä testaaminen. Varsinaisen ohjelmointityö tilattiin D.O.F.tech Oy:lta. Suurin osa ketteristä ohjelmistokehitysprosessimalleista pohjautuu ajatukseen, että kehitysryhmä koostuu useammasta kuin kahdesta henkilöstä, joten osa mallien piirteistä ei sovi pienemmille projekteille. Esimerkiksi päivittäisten *Scrum*-palaverien pidon todettiin olevan turhaa kahden ihmisen kesken, kun vuorokauden aikana ohjelmointityötä tai testausta on saatettu tehdä todella vähän (tai ei ollenkaan). Ohjelman kehityksessä käytettiin kuitenkin iteratiivista ja inkrementaalista kehitysmallia.

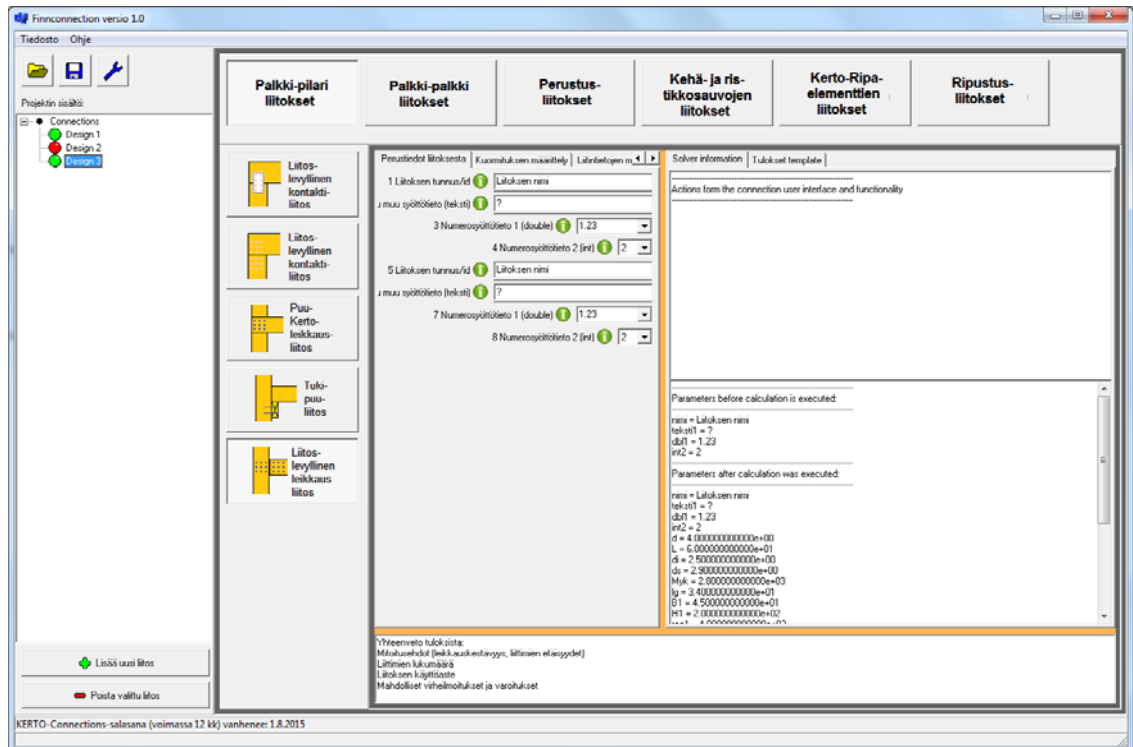
Ohjelman kehitys koostui kolmesta merkittävästä osa-alueesta: ohjelman rakenteen kehittäminen, ohjelman käyttöliittymän kehittäminen ja yksittäisten liitostyyppien kehittäminen. Näistä osa-alueista muodostui myös pohja ohjelman kehitysversioiden sisällölle. Kun ensimmäiset suunnitelmat ohjelman rakenteesta ja käyttöliittymästä oli saatu valmiiksi, määritettiin ensimmäisen kehitysversion sisällöksi ohjelman käyttöliittymän malliversio (kuva 46), jossa keskityttiin vain ohjelman tulevan rakenteen toteuttamiseen. Mitään varsinaista toiminnallisuutta (tallentamista, projektihallintaa tai mitoitusta) ei ensimmäinen versio vielä sisältänyt.



**Kuva 46. Liitosmitoitushjelman ensimmäinen kehitysversion: käyttöliittymän hahmotelma**

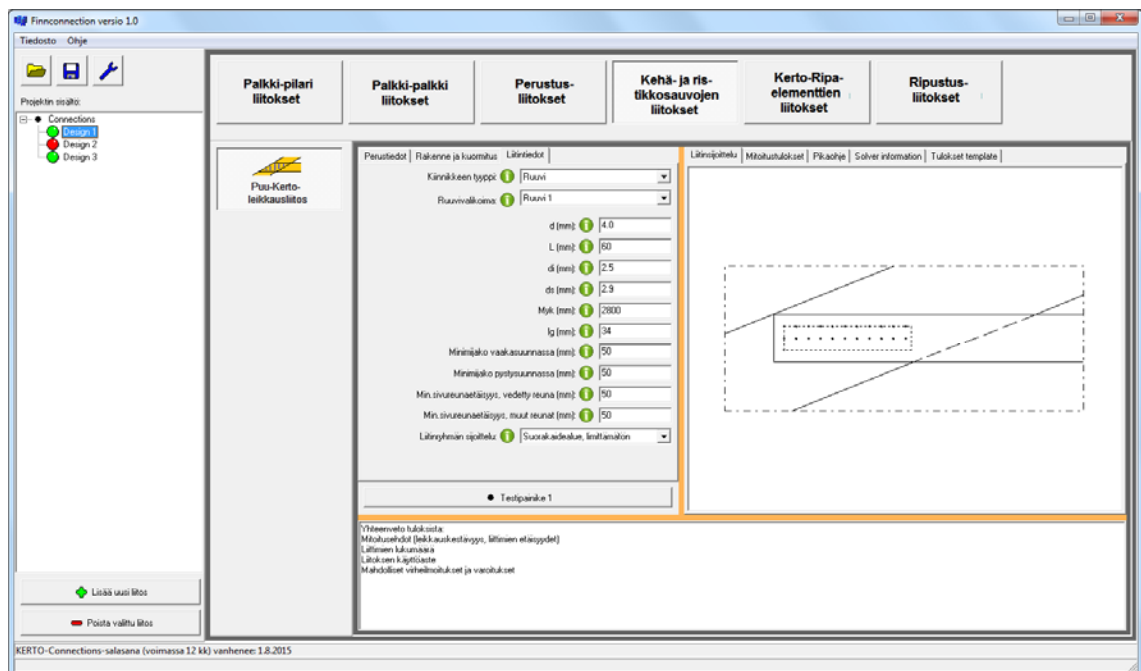
Ohjelmoija sisällytti jokaisen kehitysversion mukaan myös kehityslistan, johon merkittiin kunkin kehitysversion uudet ominaisuudet. Ensimmäisen kehitysversion kohdalla selvisi, että ohjelmaan tulevan valikkorakenteen muuttaminen myöhemmissä vaiheissa tulisi olemaan helppoa ja nopeaa, sillä jokainen liitostyyppi ohjelmoitaisiin omaksi moduulikseen. Valikkorakennetta pystyttäisiin ohjaamaan päivittämällä yksinkertaista listaa, joten liitostyyppien kehitys voitaisiin aloittaa, vaikkei ohjelman rakenne ollutkaan vielä täysin lopullinen.

Seuraavaan ohjelman versiota varten työsti ohjelman rakenne sellaiseksi, että sen alustavan version pystyi jo lisäämään ohjelmaan (kuva 47). Valikkorakenteeseen lisättiin myös hahmotelmat kustakin liitostyypistä. Kuvien ja fonttien hiominen julkaisukuntoon päätettiin tässä vaiheessa jättää mitoitusominaisuuksien jälkeiseen vaiheeseen, jotta mitoitusominaisuuksia päästäisiin toteuttamaan ja testaamaan mahdollisimman pian. Priorisointi tehtiin niin kutsutun riskiarvion mukaisesti, jossa suuremman epäonnistumisen riskin sisältävät toiminnot pyritään toteuttamaan ensin. (26 s. 8). Mitoituksen oikeellisuus on mitoitusohjelmassa paljon kriittisempi ominaisuus, kuin käyttöliittymän esteettiset arvot, joten mitoituksen ohjelmoinnin priorisointi oli tärkeää.



Kuva 47. Ohjelman rakenteen alustava versio liitosmitoitusohjelmaan lisättynä

Kolmanteen ohjelmaversioon sisällytettiin ensimmäinen hahmotelma ensimmäisen liitostyyppin (puuosien välinen leikkausliitos) mitoitukselta (kuva 48). Mitoitus pohjasi samaan Metsä Woodin liitosmitoituskortin mukaiseen yksinkertaistettuun mitoitukseseen kuin ohjelmistokehitysprojektin suunnittelussa sillä mitoituksen määrittely oli tässä vaiheessa vielä kesken. Näin saatiin kuitenkin ensimmäinen hahmotelma siitä miten liitosmitoituksessa tarvittavien parametrien syöttökentät sijoitettaisiin eri välilehdille. Versio sisälsi myös hahmotelman liitinsijoittelun ja mitoitus tuloksien välilehdistä.



Kuva 48. Ensimmäinen hahmotelma puuosien välisen leikkausliitoksen mitoitus toiminnallisuudesta

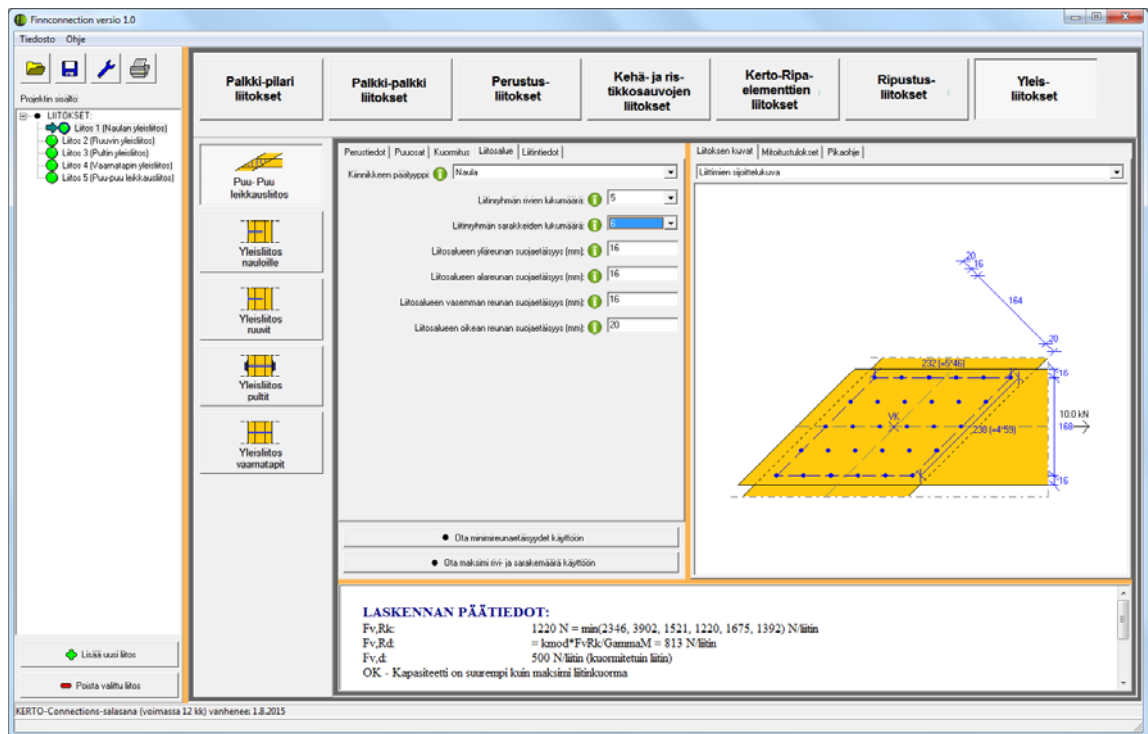
[illegible]

Yksittäisen liittimen kapasiteetin mitoitusyökalun testausta ja testauksen tuloksia on käsitelty tarkemmin kappaleissa 6.7.1 ja 6.7.4. Kehityksen aikana tehtiin parannuksia muun muassa leikkauskuvan havainnollisuuteen tarkkojen mittojen merkinnällä (liittimien profiloituneet osat, kokonaispituudet) ja merkitsemällä Kertotuotteiden viilurakenne kuviin. Yksittäisten liittimien kapasiteetin mitoitusyökalujen viimeistelyyn käytettiin useita kierroksia, sillä myöhemmät liittostyypit pohjaavat osaltaan

kapasiteettien laskentaan. Kapasiteettien laskenta pyrittiin siis saamaan oikeaksi ennen kuin varsinaisten liitosryhmien suunnitteluun siirryttiin.

Yksittäisen liittimen kapasiteetin mitoitus työkalujen valmistuttua ohjelma annettiin ohjelmistokehitysprojektin ulkopuolelle Metsä Woodin kehitystiimin testattavaksi. Ohjelman mitoituksen oli tässä vaiheessa tarkastanut määrittelyn tekijä ja työn ohjaaja TkT Ari Kevarinmäki. Testaajat käyttivät ohjelmaa todellisten mitoitus tapausten laskennassa. Näin toivottiin saatavan testaus palautetta, joka simuloi varsinaisia loppukäyttäjiä ja heidän käyttökohteitaan mahdollisimman hyvin.

Puuosien välinen leikkausliitos vaati ohjelmalta erilaista välilehtien jakoa, joten ensimmäisessä liitoksen sisältävässä versiossa keskityttiin tarvittavien parametrien syöttöikkunoiden keräämiseen ja sijoitteluun välilehdille. Mitoitustuloksista ja liitinsijoittelusta tehtiin tässä vaiheessa vasta hahmotelmia. Kuvassa 50 on esitetty ensimmäinen ohjelmaversio, jossa on esitetty jo liittimien sijoittelu ja liitoksen kapasiteetin laskenta. Puuosien välisen leikkausliitoksen mitoitus päästiin testaamaan ensimmäisen kerran tästä versiosta. Tämä oli jo ohjelman 15. toimitettu versio, sillä varsinkin yksittäisten liittimien kapasiteetin työkaluja kehitettäessä oli julkaistu tiheästi korjausversioita pieniin virheisiin.



Kuva 50. Puu-puuleikkausliitoksen liitinsijoittelun sisältävä ohjelmaversio

Tulokset ja tulosteet jätettiin riskiarvioinnin perusteella liitostyyppien kehityksen viimeiseksi kohdaksi. Ensimmäisiin versioihin koottiin vain tarkastuksessa tarvittavat tulostiedot, mutta niiden muotoiluun ei käytetty resursseja. Tulokset ja tulosteet muotoiltiin ja viimeisteltiin vasta, kun mitoitus toiminnallisuus oli saatu valmiiksi.

Liitosmitoitusohjelman kehitysprosessi ajautui iteratiiviseksi ja joustavaksi lähes itsestään. Liitosmitoitusohjelman kohdalla iteratiivisen ja joustavan kehityksen periaatteita on helppo toteuttaa, sillä ohjelma on helposti jaettavissa liitostyyppien perusteella pienempiin kokonaisuuksiin, joita voidaan työstää iteratiivisesti. Myös

mitoitukseen ja käyttöliittymään liittyvän työn välinen jako on selkeä, jolloin vain toista puolta voidaan tarvittaessa kehittää kerrallaan.

### 6.3 Ohjelman rakenne

Ohjelman rakenteen määrittämistä lähestyttiin käyttöliittymäsuunnittelun kannalta. Tavoitteena oli ohjelma, jossa käyttäjä voisi aloittaa varsinaisen mitoitustyön mahdollisimman nopeasti ohjelman käynnistämisestä. Erilaisia liitostyyppisiä tunnistettiin lopulta 27 (13 pilarien ja palkkien liitosta, 5 muuta sauvarakenteiden liitostyyppiä, 4 Kerto-Ripa-elementtien liitostyyppiä ja 5 muuta liitostyyppiä kuten levyjen kiinnitykset ja vahvistusliitokset), joten liitostyyppit päätettiin jakaa ohjelmassa kahdelle eri tasolle, jotta halutun liitostyyppin löytäminen olisi mahdollisimman nopeaa ja yksinkertaista. Tavoitteena oli siis rakenne, jossa kullakin tasolla vaihtoehtojen määrä olisi rajallinen, jotta oikean liitostyyppin paikantamiseen käytetty aika olisi mahdollisimman lyhyt.

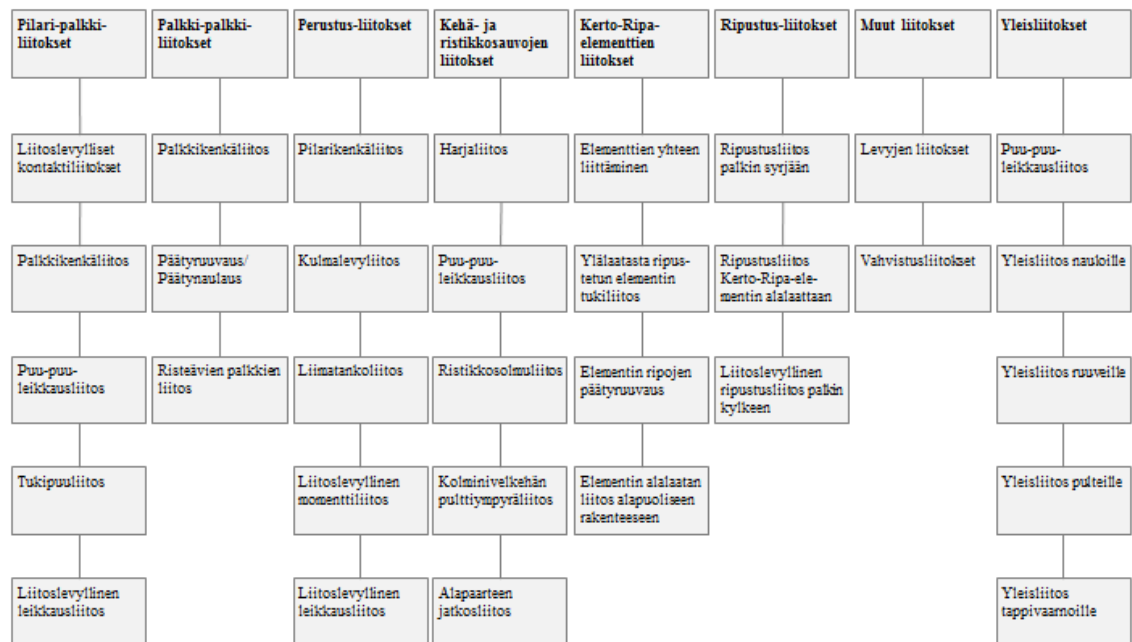
Kertotuotteiden liitosten kartoituksessa korostui liitostyyppin käyttötarkoituksen mukainen jaottelu verrattuna esimerkiksi liitoksen mitoituseriaatteiden mukaiseen jaotteluun. Käyttötarkoituksen mukaista jaottelua päätettiin käyttäjäystävällisyyden vuoksi käyttää myös itse liitosmitoitushjelmassa.

Alkuperäisessä liitosryhmittelyssä oli kolme eri liitostyyppiryhmää: sauvarakenteiden liitokset, Kerto-Ripa-elementtien liitokset ja muut liitokset. Hyvin pian kuitenkin todettiin, että erityisesti erilaisia sauvarakenteiden liitoksia esiintyi kymmeniä erilaisia, joten sauvarakenteiden liitosten ryhmä päätettiin jakaa edelleen. Ensimmäinen askel oli sauvarakenteiden liitosten jakaminen pilarien ja palkkien liitoksiin sekä kehien ja ristikkoiden liitoksiin. Pilarien ja palkkien liitoksia todettiin kuitenkin olevan edelleen liian paljon muodostamaan mielekäs valikoima, joten pilarien ja palkkien liitokset jaettiin vielä kolmeen ryhmään: palkki-pilariliitokset, palkki-palkki-liitokset ja perustusliitokset.

Ohjelman kehitysvaiheessa päätettiin toteuttaa työkalut yksittäisen liittimen kapasiteetin mitoitukseen ja yleiselle puuosien väliselle leikkausliitokselle. Molemmat ovat perustapauksia, joiden mitoitusratkaisuja käytetään alkutietoina monissa muissa liitostyypeissä, joten tällaisten tapausten mitoitus kannattaa tehdä ohjelmaan ensimmäisenä. Ohjelman kehityksen ohessa todettiin, että erillisistä yksittäisen liittimen kapasiteetin mitoitustyökaluista on käyttäjille konkreettista hyötyä sillä tällöin ohjelmaa voidaan käyttää apuna myös sellaisten liitosten mitoituksessa, joille ei ohjelmasta (vielä) löydy omaa liitostyyppiä. Nämä työkalut eivät sopineet suoraan mihinkään olemassa olevaan liitosryhmään, joten niitä varten päätettiin perustaa oma ryhmänsä: yleisliitokset.

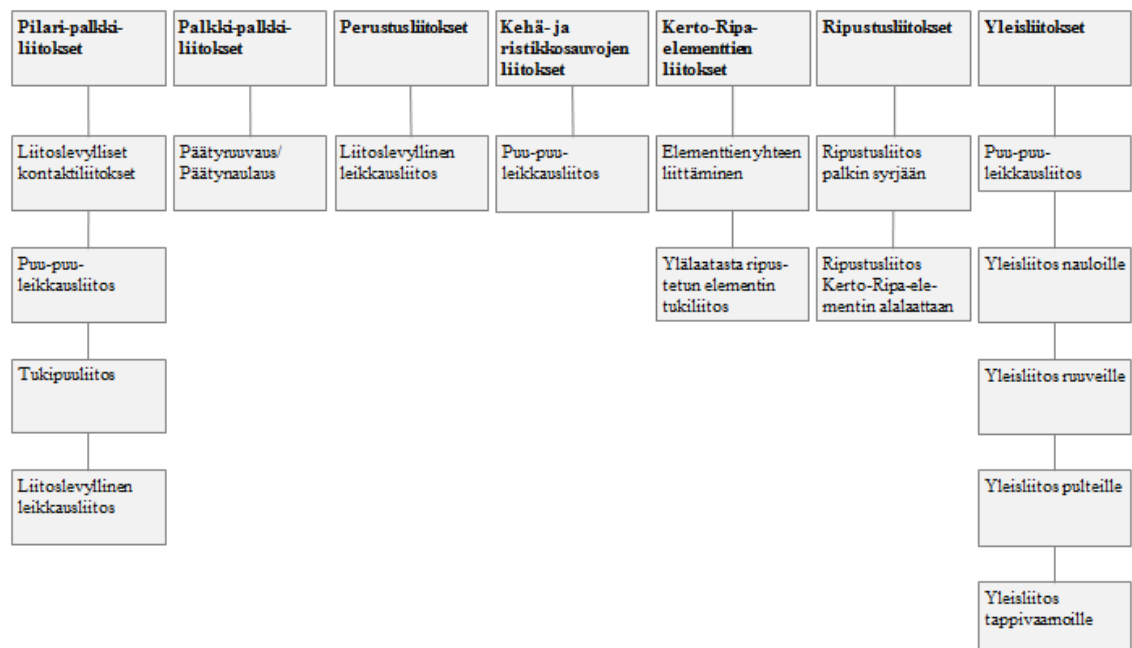
Lopullisessa versiossa liitostyyppiryhmiä on siis kahdeksan: palkki-pilariliitokset, palkki-palkki-liitokset, perustusliitokset, kehä- ja ristikkosauvojen liitokset, Kerto-Ripa-elementtien liitokset, ripustusliitokset, muut liitokset ja yleisliitokset. Liitostyyppikartoituksessa esiintyneiden liitosten ryhmittely ohjelman valikkorakennetta varten on esitetty kuvassa 51.





Kuva 51. Liitostyypien ryhmittely liitosmitoitusohjelman valikkorakenteessa

Kaikkia kuvassa 51 esiintyviä liitostyyppejä ei toteuteta liitosmitoitusohjelman ensimmäiseen julkaisuversioon, sillä tällaisen version kehittäminen tulisi luultavasti viemään vuosia. Luvussa 2.3 on käsitelty liitostyypien valintaa ohjelman ensimmäiseen julkaisuversioon. Kuvassa 52 on esitetty valitut liitostyypit ja valikkorakenne ensimmäisessä julkaisuversiossa.



Kuva 52. Liitosmitoitusohjelman ensimmäisen julkaisuversion liitostyypivalikoima ja liitostyypivalikon rakenne

Kuvassa 52 esitetty liitosvalikkoratkaisu johtaa siihen, että mitoitusohjelman ensimmäisessä julkaisuversiossa osassa liitosryhmiä on valittavana vain yksi liitostyyppi. Ohjelmoinnin salliman liitosryhmien helpon muuntelun (kts. 6.1.3) avulla voitaisiin ensimmäisen julkaisuversion käytettävyyttä parantaa yhdistämällä liitosryhmiä. Tällöin yhden liitostyyppin ryhmät voitaisiin yhdistää esimerkiksi pilari-

palkki-liitosten kanssa yhteiseksi sauvarakenteiden liitosten ryhmäksi, kuten alun perin suunniteltiin. Liitosvalikoiman kasvaessa voitaisiin ohjelman seuraavissa versioissa ryhmä jälleen pilkkoa pienempiin osiin. Tämän seurauksena liitosvalikoiman rakenne kuitenkin muuttuisi eri versioiden varilla ja käyttäjä ei enää löytäisi haluamaansa liitostyyppiä tutusta paikasta, joten tästä kehityssuunnasta päätettiin luopua. Ohjelman rakenteen muuttumisen eri julkaisuversioiden välillä voidaan olettaa hämmentävän käyttäjiä. Tietyn liitostyyppin pitäisi löytyä samasta paikasta myös uudessa ohjelmaversiossa.

## **6.4 Ohjelman sisällön määrittäminen**

Diplomityössä keskitytään liitoksiin, joiden puuosat ovat Kerto-S tai Kerto-Q tuotteista. Puulevyt voivat olla vaneria, kovaa kuitulevyä, lastulevyä tai OSB-lastulevyä. Liitoksessa käytettävä levy voi olla myös metallia.

Liitosten kuormat syötetään mitoituskuormina. Käyttäjän vastuulla on määrittävän mitoituskuormituksen selvittäminen tai näiden vertailu eri laskelmissa esimerkiksi ohjelman projektipuominaisuuden avulla.

### **6.4.1 Liitinryhmät**

Liitinryhmä koostuu samankokoisista samanlaisista liittimistä. Liitinryhmän väliset minimiliitintäisyydet ja reunaetäisyydet määritellään kunkin liittintyyppin omien ohjeiden mukaisesti (EC5 kohdat 8.3.1.2(5), 8.5.1.1(3), 8.6(3)). Liitintäisyydet tulee huomioida kaikille liitos-osille niiden omassa syysuunnassa.

### **6.4.2 Liitostyyppit**

#### **Yksittäisen liittimen kapasiteetin mitoitus**

Yksittäisen liittimen kapasiteetin mitoituksen työkalua ei alun perin suunniteltu Metsä Woodin liitosmitoitusohjelmaan, vaan ohjelmassa päätettiin keskittyä erilaisten liitosten kokonaisvaltaiseen mitoitukseen, jossa myös liitosten sijoittelu otettaisiin huomioon.

Yksittäisen liittimen kapasiteetin laskenta on kuitenkin osa kaikkien liitosten mitoitusta ja yksittäisen liittimen mitoituksen työkalun todettiin palvelevan asiakkaita tilanteissa, joissa liitostyyppiä ei ole saatavilla omana liitoksenaan, joten ohjelmaan päätettiin lisätä oma työkalunsa naulan, ruuvien, pultin tai tappivaarnan kapasiteetin mitoitukselle tyypillisimmissä liitoskokoontavoissa.

Ensimmäisessä vaiheessa yksittäisen liittimen kapasiteetin mitoittaminen toteutettiin palvelemaan ensimmäisenä toteuttavaa puuosien välistä leikkausliitosta, joten työkalun ensimmäisessä vaiheessa toteutettiin naulan, ruuvien, pultin ja tappivaarnan kapasiteettien mitoitus yksi- tai kaksileikkeisissä liitoksissa, jossa kaikki osat olivat Kerto-S tai Kerto-Q:ta. Kaksileikkeisissä liitoksissa kaikki puuosat ovat syrjällä, joten liitos tulee osien lappeeseen. Yksileikkeisissä liitoksissa on mahdollista myös syrjäliitos, jolloin kannanpuoleinen puosa liitetään lappeestaan toisen puosan syrjään. Liitoksen määrittely on esitetty liitteessä B2.

#### **Puosien välinen leikkausliitos**

Puosien välisellä leikkausliitoksella käsitetään tässä työssä kahden Kerto-S- tai Kerto-Q-sauvan välistä suoraa leikkausliitosta, jossa ei käytetä liitososina metalli- tai

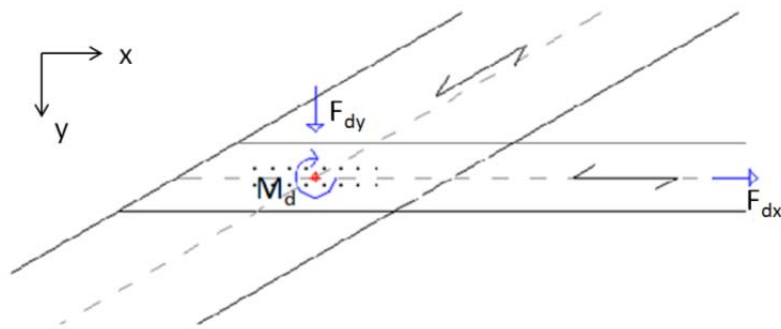
puulevyjä. Puu-puuleikkausliitoksen tarkempi määrittely laskentakaavoineen on esitetty liitteessä B3. Ohjelmointityö on tehty tämän määrittelyn pohjalta.

### *Liitososat*

Liitososat ovat Kerto-S- tai Kerto-Q-tuotteita. Metallisia tai puisia liitoslevyjä ei puuosien välisessä leikkausliitoksessa käytetä. Liitos voi olla joko yksi- tai kaksileikkeinen. Reunapuita nimitetään tästä eteenpäin nimellä puuosa 1 ja keskipuuta nimellä puuosa 2. Molemmille puuosille määritetään materiaali, paksuus ja korkeus. Reunapuiden oletetaan olevan samaa materiaalia ja saman paksuiset. Puuosien välinen kulma voidaan määrittää välillä  $0...90^\circ$ , jolloin paarteen jatkoliitos ja pilarin ja palkin väliset leikkausliitokset ovat myös työkalulla mahdollisia.

### *Kuormitus*

Liitosta voidaan kuormittaa joko momentilla, vetävällä tai puristavalla voimalla puuosissa 1, leikkausvoimalla puuosan 1 syrjään tai näiden erilaisilla yhdistelmillä. Vetävän tai puristavan voiman suunta on puuosan 1 syysuunnan suuntainen ja kuormituksen oletetaan yhtyvän puuosan keskilinjaan. Leikkausvoiman suunta on kohtisuoraan puuosan 1 syysuuntaa vastaan ja kuorman oletetaan vaikuttavan linjassa puuosien keskiosien leikkauspisteen kanssa. Momentti vaikuttaa myös liitoksen puuosien keskilinjojen leikkauspisteessä. Momentin suunta voidaan valita vapaasti. Kuormituksen määrittely on esitetty kuvassa 53.



**Kuva 53. Puuosien välisen leikkausliitoksen kuormitus ja kuormituksen vaikutuspiste**

### *Liitoksen mitoitus*

Liitintyyppin valintaa ei rajoiteta, vaan liittimet voivat olla nauvoja, ruuveja, pultteja tai tappivaarvoja. Yksittäisen liittimen poikittaiskuormakestävyys lasketaan EC5:n kohdan 8.2 puuosien välisten liitosten ja kyseisen liitintyyppin ohjeiden mukaisesti. Liitoksessa ei esiinny liittimiä pituussuunnassa kuormittavia voimia, joten liitinten pitkittäistä kestävyyttä ei tarvitse erikseen mitoittaa. Liittimien pitkittäisen kestävyuden vaikutus poikittaiseen kestävyYTEEN köysivaikutuksen kautta voidaan kuitenkin huomioida, jolloin myös aksiaalinen kapasiteetti tulee mitoittaa. Momentin mahdollinen jakautuminen epätasaisesti liittimille otetaan liittimien kapasiteettien ja liittimille tulevan kuormituksen mitoituksessa huomioon.

### **Liitoslevyllinen kontaktiliitos**

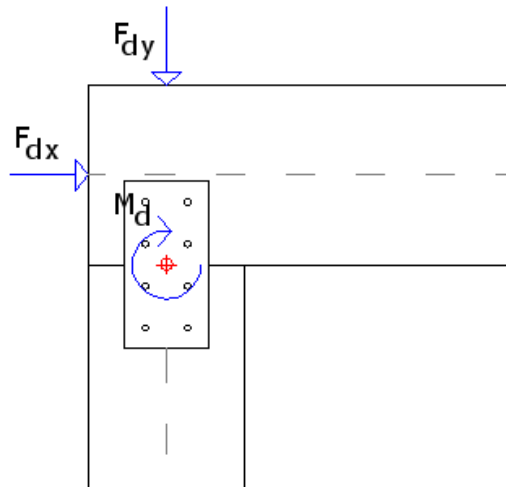
Liitoslevyllinen kontaktiliitos on pilarin ja palkin välinen liitos, joka tuetaan puu- tai metallilevyillä.

### Liitososat

Tässä työssä käsitellään tapausta, jossa pilari ja palkki on valmistettu Kerto-S- tai Kerto-Q-tuotteista. Liitosta tukevat levyt voivat olla puulevyjä tai metallilevyjä. Liitoksen levyt voivat olla joko palkin ja pilarin ulkopuolella tai rakennneosien sisällä. Rakennneosien sisäpuolelle levyjä voi asentaa yhden. Rakenteen ulkopuolella levyjä voi olla joko rakenteen molemmin puolin tai vain toisella puolella, jos esimerkiksi asennustekniikka tätä vaatii.

### Kuormitus

Liitosta voidaan kuormittaa pystysuuntaisella kuormalla, poikittaissuuntaisella kuormalla, momentilla tai näiden yhdistelmällä. Kuormien suunta tulisi olla vapaasti määriteltävissä. Kuormitus ja kuormituslinjat on esitetty kuvassa 54.



Kuva 54. Liitoslevyllisen kontaktiliitoksen kuormitus ja kuormituksen vaikutuspiste

### Liitoksen mitoitus

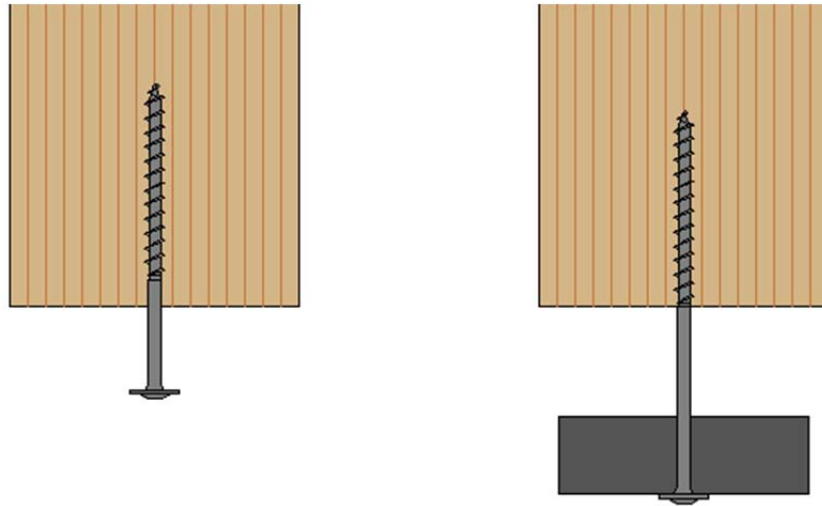
Kontaktiliitoksissa valtaosa pystysuuntaisesta kuormasta siirtyy pilarin ja palkin välisen kontaktin välityksellä. Kontaktiliitoksen palkin tukipainekestävyys tarkastetaan Eurokoodi 5-standardin kohdan 6.1.5 *Syysuuntaa vastaan kohtisuora puristus* mukaisesti pystysuoralle puristavalle voimalle. Liitoslevyllisen liitoksen leikkauskestävyys tarkastetaan sivuttaisille kuormille, momentille ja pystysuoralle vetävälle voimalle, jos tällaista esiintyy.

Liitoksessa mitoitetaan erikseen pilarin ja palkin liitokset liitoslevyyn. Liitoksessa esiintyy aina myös kuormituksen epäkeskisyydestä johtuvaa liitosmomenttia, joka huomioidaan myös mitoituksessa.

### Ripustusliitokset

#### Ripustusliitos palkin syrjään

Ripustusliitos palkin syrjään voidaan tehdä ruuviliittimillä, joiden ulosvetomurtuminen ja vetomurtuminen tulee mitoittaa. Ruuvien sijainti määritellään siten, että ruuvien kannan ja puuosan välille voidaan jättää tyhjää tilaa. Ripustus voidaan tehdä joko suoraan ruuviin tai esimerkiksi levyn avulla, jolloin tulee tarkastaa ruuvien kannan irtoaminen ja ruuvien kannan läpivetomurto. Vaihtoehtoja ruuvien sijainnille on esitetty kuvassa 55.



**Kuva 55. Ripustusliitoksia: (a) ripustus suoraan ruuviin ja (b) metallilevyllinen ripustusliitos**

#### *Ripustusliitos Kerto-Ripa-elementin alalaattaan*

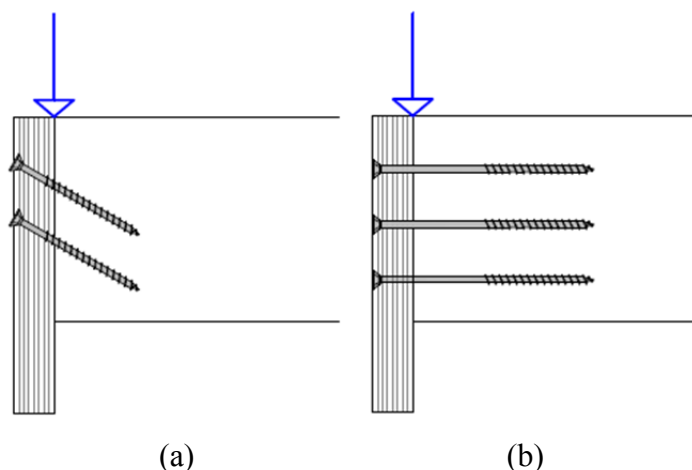
Kerto-Ripa-elementin alalaattaan tehty ripustusliitokset voivat olla joko laatan kentässä tai elementin rivan kohdalla. Kenttään sijoitetussa tapauksessa mitoitetaan ruuvin ulosvetokestävyyttä Kerto-Q-levystä. Rivan kohdalla ruuvin voidaan olettaa tunkeutuvan myös Kerto-S-rivan syrjään.

#### **Palkkien välinen vino- tai ristiruuvaus sekä päätynaulaus ja -ruuvaus**

Päätypuuhun tulevien palkkiliitosten toteuttaminen ja mitoittaminen ei ole välttämättä kaikissa maissa sallittua. Ensisijaisesti eurokoodien ohjeissa ei päätypuuhun lyötyjen naulojen oleteta siirtävän poikittaiskuormia. Tästä voidaan kuitenkin tietyillä edellytyksillä poiketa kansallisessa liitteessä, kuten Suomessa on tehty. (8 s. 57) (19 s. 6)

Päätypuuhun nähden 90° kulmassa voidaan tehdä naula- ja ruuviliitoksia, mutta kestävyysmitoitustarvona käytetään kolmannesta vastaavan paksuisen sileän naulan syysuunaan kohtisuorassa tapauksessa eikä liittimiin kohdistu muita kuin poikittaisia kuormia. Lisäksi tunkeuman tulee olla vähintään  $10d$  eikä merkittäviä kosteusmuodonmuutoksia voida sallia, joten liitoksen käyttäminen käyttöluokassa 3 on kielletty. Liittimiä tulee olla vähintään kolme.

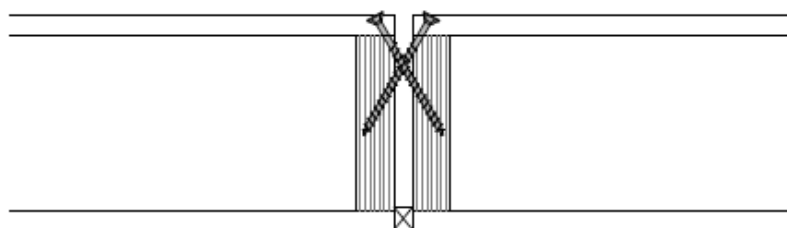
Vino- ja ristiruuvaukseen on esitetty Kerto-tuotteille erilliset ehdot VTT:n erillisessä lausunnossa. (27) Vino- ja ristiruuvausta voidaan tehdä itseporautuvilla ruuveilla, kunhan liittimen kulma liitospintaan ja kuormaan on välillä  $\alpha = 30^\circ..60^\circ$ . Palkkien välinen vinoruuvaus on yksileikkeinen vinoruuvausliitos, jossa kaikilla liittimillä oletetaan olevan sama suunta. Ristiruuvauksessa liittimet sijoitetaan ristikkäin. Liittimet kuormittuvat samanaikaisesti sekä poikittaisella komponentilla, että pitkittäisellä komponentilla, joten mitoituksessa on käytettävä yhdistetyn leikkauksen ja vedon mitoitusmenetelmiä. Ensisijaisesti liitosta kuormitetaan pystysuuntaisella leikkauskuormalla (kuva 56).



Kuva 56. (a) Vinoruuvilleiitoksen ja (b) päätyruuvauksen kuormitus palkkien välisessä liitoksessa

### Kerto-Ripa-elementtien välinen leikkausliitos

Kerto-Ripa-elementtien välisen leikkausliitoksen toteutukseen on useita erilaisia tapoja. Tässä keskitytään vinoruuuvauksella toteutettavaan liitostapaan. Liitoksen mitoitus on rinnastettavissa edellä käsiteltyyn vinoruuvaukseen, mutta liitostyypissä on huomioitava myös vaihtoehto, jossa liitettävien ripojen väliin jätetään aukko (kuva 57). Liitoksen kuormitus voi olla joko pystysuuntaista tai Kerto-Ripa-elementtien ripojen suuntaista leikkausta.



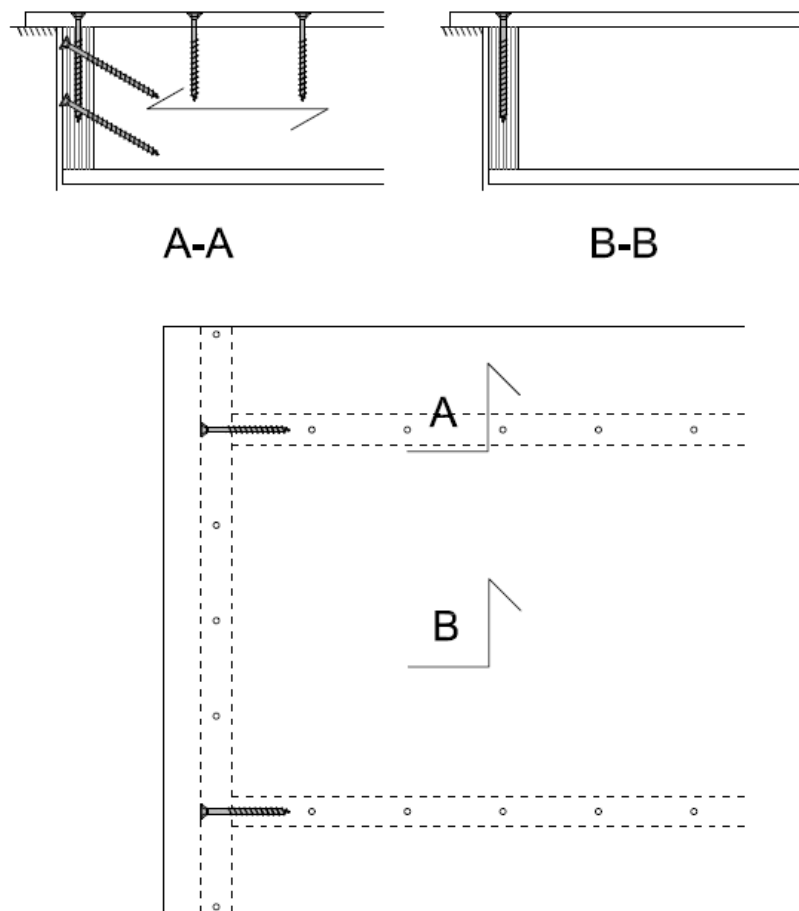
Kuva 57. Vinoruuvilleiitos Kerto-Ripa-elementtien välisenä leikkausliitoskenä

### Liitoslevyllinen leikkausliitos

Liitoslevyllisen leikkausliitoksen mitoituksessa noudatetaan pääasiallisesti samoja mitoitusohjeita kuin liitoslevyllisille kontaktiliitoksille, mutta liitoksen toisen puolen mitoituksen tarkastus jätetään käyttäjän tehtäväksi jollakin toisella menetelmällä.

### Ylälaatasta ripustetun Kerto-Ripa-elementin tukiliitos

Ylälaatasta ripustetun Kerto-Ripa-elementin tukiliitokselle on määritelty omat VTT:n tarkastamat luottamukselliset mitoitusohjeet. Liitoksessa käytetään itseporautuvia ruuveja. Liitoksen mitoituksessa tarkastetaan ylälaatan leikkauskestävyys, ylälaatan taivutuskestävyys, elementin reunimmaisen rivan leikkauskestävyys ja liitoksessa käytettävien eri liittimien kestävyys. Muihin tässä esiteltyihin liitoksiin verrattuna liitoksen suurin ero, että sen kaikki liittimet eivät ole välttämättä samantyyppisiä vaan liitoksen eri kohdissa on sallittava erilaisten liittimien käyttö. Kuvassa 58 on esitetty liitoksen periaate ja siinä esiintyvät eri liittintyyppit. Liitoksen kuormitus määritetään Kerto-Ripa-elementin päälle kohdistuvana jakautuneena kuormana.



Kuva 58. Ylälaatasta ripustetun Kerto-Ripa-elementin tukiliitos

### 6.4.3 Tulokset

Tuloksissa esitetään mitoituksen lopputulos. Tuloksista tulee selvitä mitoitettun liitoksen kapasiteetti ja käytettyjen liittimien määrä.

Välituloksista ilmoitetaan puuosien reunapuristuslujuudet, liittimien myötömomentti  $M_{y,Rk}$ , ulosvetokestävyyden ominaisarvo  $F_{ax,Rk}$ , leikkauskestävyyden laskennassa käytettävä köysivaikutustermi ja eri murtotapojen mukaiset leikkauskestävyydet leikettä kohden.

Lopullisissa tuloksissa käydään läpi liitoksen kestävyys mitoitusarvo liittimelle, ulosvetokestävyyden mitoitusarvo, liitoksen kestävyys ja käyttöaste leikkauksessa tai vedossa, liitoksen halkeamismurto- ja lohkeamismurtokestävyydet ja käyttöasteet, liittimien määrä, hetkellinen liitossiirtymä ja hetkellinen kiertymä.

### 6.4.4 Huomautukset

Tuloksiin sisällytetään myös sanallisia huomioita ja ohjeita liitokseen liittyen. Näiden huomioiden ja ohjeiden avulla tarkennetaan mitoituksen tulosta ja eritellään käyttäjälle muun muassa ehtoja, joita liitoksen valmistuksessa on huomioitava, jotta mitoituksen tulos pitää paikkansa.

### Esiporaus

Ohuilla nauloilla ja ruuveilla ( $d \leq 6$  mm) liittimien esiporaus voidaan jättää tekemättä, jos liittyvien osien paksuus on riittävä ja puun tiheys on alle  $500 \text{ kg/m}^3$ . Jos liittimille

tehdään esiporaus, esitetään tuloksissa ohjeet esiporauksen tekemiselle. Jokaisen liittintyyppin esiporaukselle esitetään rei'ille rajaehdot, joiden mukaan esiporaus on tehtävä, jotta annettuja mitoitusohjeita voidaan käyttää.

### **Liitoksen sitkeys**

Liitoksen sitkeyttä voidaan ennustaa liitoksen leikkauskestävyyden  $F_{v,Rk}$  määrittävän murtotavan perusteella. Liitossuunnittelussa voidaan siis pyrkiä välttämään tapauksia, joissa liitoksen hauras murtuma on todennäköisin murtotavoista. Tätä tarkoitusta varten tuloksiin lisätään huomautus, jos liittimen leikkauskapasiteetin määrittää jokin hauraista murtotavoista.

## **6.5 Käyttöliittymäsuunnittelu**

Käyttöliittymäsuunnittelun tavoitteena on tuottaa mahdollisimman helppokäyttöinen ja toimiva ohjelma. Käyttöliittymäsuunnittelun piiriin kuuluvat muun muassa ohjelman rakenteeseen liittyvät ratkaisut, valikkojen suunnittelu, parametrien syöttö, esitettävät kuvat, ohjelman esteettisyys ja toiminnallisuus. Tässä luvussa on esitelty liitosmitoitusohjelman käyttöliittymään vaikuttavia tekijöitä ja näiden pohjalta tehtyjä ratkaisuja.

### **6.5.1 Valikkorakenteet ja ikkunointi**

Käyttöliittymää suunniteltaessa kiinnitettiin huomioita liitosvalikoimaan ja sen tulevaan laajenemiseen. Tavoitteena oli, että käyttäjä voisi aloittaa haluamansa liitoksen mitoituksen mahdollisimman nopeasti. Tähän pyrittiin rajoittamalla vaihtoehtojen määrää kussakin käyttäjän valintakohdassa, jotta käyttäjällä ei kuluisi aikaa oikean vaihtoehdon etsimiseen vaan valinnat voitaisiin suorittaa mahdollisimman nopeasti niin sanotusti yhdellä vilkaisulla. Rakenteen luomisessa kiinnitettiin erityistä huomiota sen tasapainoisuuteen. Näin saavutettiin valikkorakenne, jossa yhdessäkään liitostyyppiryhmässä ei ole huomattavasti enempää liitoksia kuin toisissa ja toisaalta kaikissa ryhmissä on hallittavissa oleva määrä liitoksia, joista valinta on helposti tehtävissä.

Finnwood-mitoitusohjelman ja liitinmitoitusohjelmien kartoituksen perusteella kävi selväksi, että liitoksen mitoitusprosessia on järkevää jakaa pienempiin osioihin. Tämän perusteella päädyttiin kolmi-ikkunaiseen käyttöliittymään, jossa ikkunoiden toiminnot oli jaoteltu seuraavasti:

1. Parametrien valinta ja syöttö
2. Leikkaus- ja liitinsijoittelukuvat, tarkat mitoitus tulokset ja ohjeet
3. Yhteenvedo mitoitus tuloksista

Ikkunoiden eri toiminnallisuudet päätettiin jakaa vielä erillisille välilehdille, jolloin yhdellä välilehdellä esitettäisiin hallittavissa oleva määrä samaan aiheeseen liittyviä parametreja. Kuvassa 59 on esitetty kolme hahmotelmaa valikkorakenteen ja mitoitusikkunoiden sijoittelusta käyttöliittymässä. Näistä alimmainen muistuttaa eniten lopullista käyttöliittymän asettelua. Liitosryhmien ja liitosvalikon päällekkäisestä asettelusta (vaihtoehto 2) luovuttiin, sillä varsinainen mitoitusosio haluttiin asettaa mahdollisimman ylös ruudulle. Kokemuksen perusteella todettiin, että ihmisilmä keskittyy paremmin ruudun yläpuoliskolla sijaitseviin asioihin. Ensimmäisen ja kolmannen vaihtoehdon ero on hyvin pieni, mutta lopulta päädyttiin ratkaisuun, jossa liitinvalikoima on irrotettu selvästi omaksi kokonaisuudekseen mitoitusosiosta.



Sauvaraken- teiden liitokset	Kerto-Ripa- elementtien liitokset	Muut liitokset
Pilari-palkki- liitos	Palkki-palkki- liitos	Perustus- liitokset
Kitapuuliitos	Harjaliitos	
<p>Projektitiedot</p> <p>Liitoksen tyyppi (esim. millainen pilari-palkki-liitos)</p> <p>Liitosten osien määrittäminen (liittyvien osien materiaali ja koko)</p> <p>Liitokseen kohdistuvat kuormat</p> <p>Liittimen valinta/määrittäminen, liittinryhmän muodon määrittäminen</p>		
<p>Ohjekuva</p> <p>Liitinten sijoittelu</p> <p>Leikkauskuva</p> <p>Pikaohteet (esim. laskentaparametrien määrittelyä varten (Liitinkirjasto)</p> <p>Tarkemmat tulokset ja tuloste</p>		
<p>Yhteenveto tuloksista:</p> <p>Mitoitusehdot (leikkauskestävyys, liittimien etäisyydet)</p> <p>Liittimien lukumäärä</p> <p>Liitoksen käyttöaste</p>		

Sauvaraken- teiden liitokset	Kerto-Ripa- elementtien liitokset	Muut liitokset
Pilari-palkki- liitos	Palkki-palkki- liitos	Perustus- liitokset
Kitapuuliitos	Harjaliitos	
<p>Projektitiedot</p> <p>Liitoksen tyyppi (esim. millainen pilari-palkki-liitos)</p> <p>Liitosten osien määrittäminen (liittyvien osien materiaali ja koko)</p> <p>Liitokseen kohdistuvat kuormat</p> <p>Liittimen valinta/määrittäminen, liittinryhmän muodon määrittäminen</p>		
<p>Ohjekuva</p> <p>Liitinten sijoittelu</p> <p>Leikkauskuva</p> <p>Pikaohteet (esim. laskentaparametrien määrittelyä varten (Liitinkirjasto)</p> <p>Tarkemmat tulokset ja tuloste</p>		
<p>Yhteenveto tuloksista:</p> <p>Mitoitusehdot (leikkauskestävyys, liittimien etäisyydet)</p> <p>Liittimien lukumäärä</p> <p>Liitoksen käyttöaste</p>		

Sauvaraken- teiden liitokset	Kerto-Ripa- elementtien liitokset	Muut liitokset
Pilari-palkki- liitos	Palkki-palkki- liitos	Perustus- liitokset
Kitapuuliitos	Harjaliitos	
<p>Projektitiedot</p> <p>Liitoksen tyyppi (esim. millainen pilari-palkki-liitos)</p> <p>Liitosten osien määrittäminen (liittyvien osien materiaali ja koko)</p> <p>Liitokseen kohdistuvat kuormat</p> <p>Liittimen valinta/määrittäminen, liittinryhmän muodon määrittäminen</p>		
<p>Ohjekuva</p> <p>Liitinten sijoittelu</p> <p>Leikkauskuva</p> <p>Pikaohteet (esim. laskentaparametrien määrittelyä varten (Liitinkirjasto)</p> <p>Tarkemmat tulokset ja tuloste</p>		
<p>Yhteenveto tuloksista:</p> <p>Mitoitusehdot (leikkauskestävyys, liittimien etäisyydet)</p> <p>Liittimien lukumäärä</p> <p>Liitoksen käyttöaste</p>		

Kuva 59. Käyttöliittymän hahmotelmia

Mitoitusosien yläpuolella sijaitsevat välilehdet oli ensimmäisissä suunnitelmissa tarkoitettu eri liitosmitoituskalkelmien helppoon vertailuun ja projektin hallintaan, kuten SFSintecin ohjelmassa (katso 5.2). Projektin hallinta ja kalkelmien vertailu toteutettiin kuitenkin lopulta ohjelman vasempaan laitaan pystysuunnassa. Vastaavaa menetelmää on käytetty Finnwood 2.3 USA-ohjelmassa, joten se oli todettu toimivaksi tavaksi projektinhallinnassa.

### 6.5.2 Liitinvalikoima ja liitinparametrien syöttö

Liitosmitoitushjelman liitinvalikoimaan valikoituivat tässä versiossa standardin EN 14592 + A1 mukaiset naula-, ruuvi-, pultti- ja tappivaarnaliittimet. Liittimien määrittämiseen tarvittavia parametreja on käsitelty tarkemmin luvussa 3.3. Liitinparametrit on listattu myös liitteessä B1.

Standardiliittimiä määrittäviä parametreja on liittimestä riippuen 7-13. Parametrien suuri määrä hidastaa mitoituksen tekoa ja altistaa mitoituksen virheille. Ratkaisu, jossa käyttäjä määrittää kaikki tarvittavat parametrit, tiedettiin jo alun perin huonoksi, joten ohjelmaan lisättiin liitintietokanta, josta käyttäjä voi valita tarpeitaan parhaiten vastaavan liittimen. Liitinten parametrit haluttiin kuitenkin jättää vapaasti muokattavaksi, jotta ohjelma olisi mahdollisimman monikäyttöinen. Parametriavaruuden määrää on myös pyritty pienentämään tekemällä varmalla puolella olevia oletuksia, joiden vaikutuksen on kuitenkin arvioitu olevan pientä. Tällä perusteella esimerkiksi pulttien aluslaatan reiän on oletettu olevan suurin mahdollinen (pultin halkaisija + 2 mm tai 0,1d), eikä reiän tarkkaa halkaisijaa kysytä käyttäjältä vaikka aluslaatan reiän koko vaikuttaa aluslaatan leimapainekestävyyteen.

Joissakin parametreissa on mahdollista käyttää joko liittimen valmistajalta saatua arvoa tai standardin mukaista laskenta-arvoa. Tämä pätee erityisesti useisiin lujuusominaisuuksiin liittyviin parametreihin. Esimerkiksi ulosvetolujuuden ominaisarvot voivat olla laskettavissa liittimen ja puuosien muista parametreista, saatavissa valmistajalta tai määritettävissä nollassi, jolloin liittimen ulosvetolujuutta ei huomioida mitoituksessa ollenkaan. Tämä ratkaistiin syöttökentän seuraavalla toiminnalla:

1. Kenttään syötetty positiivinen arvo antaa tämän parametrin arvoksi
2. Kenttään syötetty 0 antaa parametrin arvoksi 0 ja esimerkiksi ulosvetolujuus määritetään tällöin nollassi
3. Kenttään syötetty negatiivinen arvo johtaa parametrin standardin mukaisen laskennallisen arvon käyttöön

Jokaisen syöttöikkunan vieressä on myös vihreä ohjepainike, jonka avulla käyttäjä pääsee katselemaan kyseiseen parametriin liittyvää ohjetiedostoa. Ohjeissa avataan parametrin merkitys mitoituksessa, siihen liittyvät rajoitukset ja parametrin syöttöön liittyvät ohjeet, kuten 0 arvon syötön seuraukset tietyissä kohdissa.

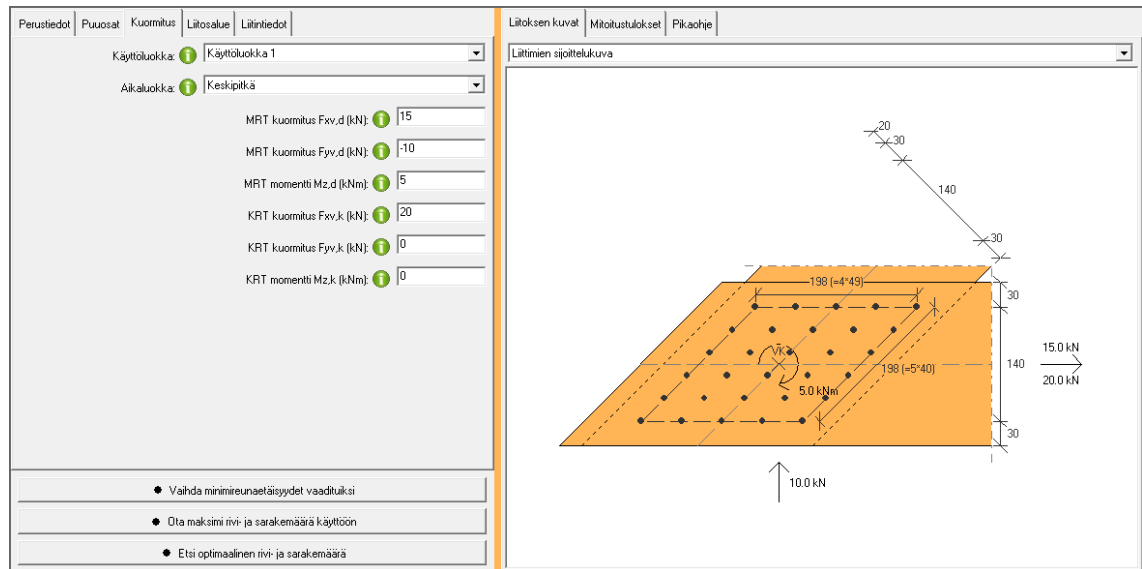
### 6.5.3 Kuormat

Liitosten kuorman määrittelystä haluttiin helppoa mutta monipuolista. Tämän vuoksi luovuttiin ajatuksesta, jossa käyttäjä pääsisi muokkaamaan esimerkiksi kuormayhdistelmiä. Käyttäjän vastuulle jätettiin siis mitoituskuorman määrittäminen oikein.

Kuormitus määritellään kahden toisiaan vastaan kohtisuoran voiman ja liitokseen kohdistuvan momentin yhdistelmänä. Näin liitokselle saadaan määritettyä minkä

tahansa suuntainen kuormaresultantti ja momentti. Liitoksen kuvassa esitetään kuormakomponenttien ja momentin suunnat.

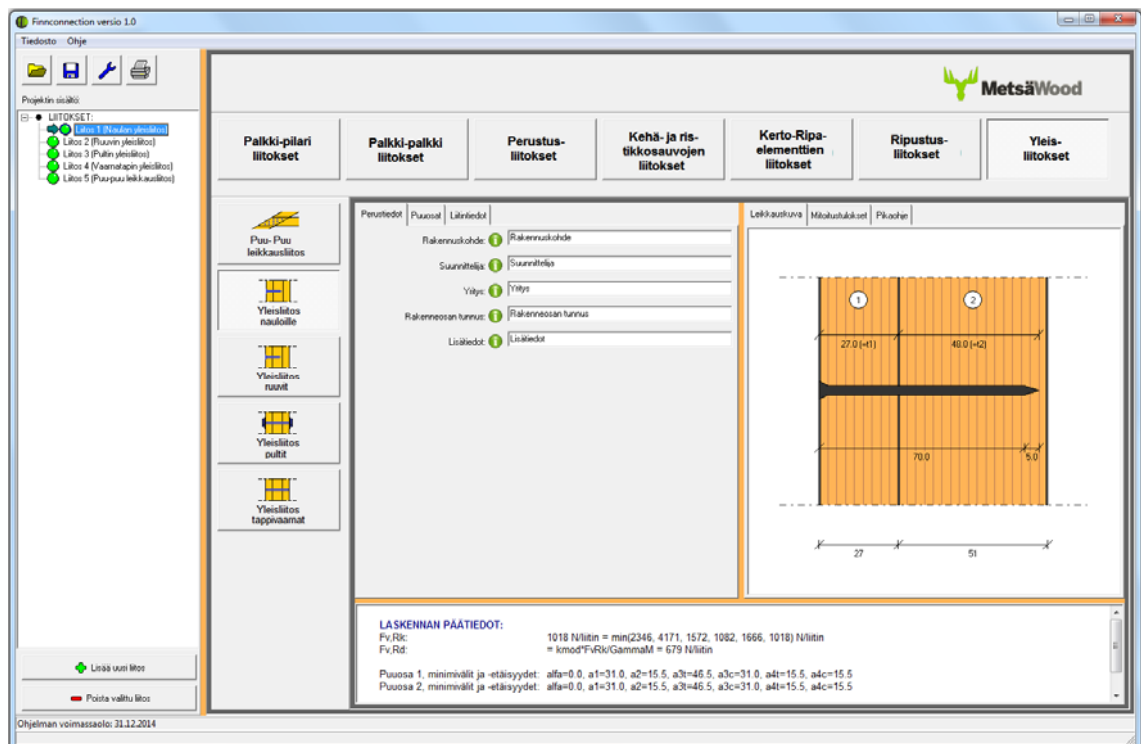
Liitosta mitoitetaan pääasiassa murtorajatilassa. Liitossiirtymän määrittäminen vaatii kuitenkin käyttörajan mitoituskuormien määrittämistä, joten näille lisättiin omat kenttensä. Kuormituksen määritteleviä kenttiä tarvitaan siis yhteensä kuusi. Kuormat merkitään liitoksen sijoittelukuvaan. Kuormien oletusarvoja vastakkaiset suunnat voidaan määrätä käyttämällä miinusmerkkiä. Kuvassa 60 on esitetty kuormituksen määrittely ja sen esitys sijoittelukuvassa.



Kuva 60. Kuormituksen määrittely ja esitys

## 6.6 Ohjelman toiminnan kuvaus

Ohjelman avautuessa avautuu oletusliitos. Oletusliitoksen voi käyttäjä määrittää ohjelman asetuksissa. Ohjelman perusnäkökulma on esitetty kuvassa 61.



Kuva 61. Liitosmitoitusohjelman perusnäkymä

Ohjelman vasemmassa laidassa on esitetty projektinhallinta (kuva 62). Yhteen projektiin voidaan luoda useampia liitoksia, jolloin esimerkiksi saman rakennusprojektin eri liitostyyppejä voidaan hallinnoida samassa liitosmitoitusohjelman projektissa. Liitospuussa vihreä merkintä osoittaa liitoksen, jonka mitoitus on viety onnistuneesti läpi ja punainen merkintä liitoksen, jonka mitoitus ei ole vielä onnistunut. Liitoksia voidaan poistaa sekä lisätä ja niiden nimi voidaan vapaasti määrittää. Uusi liitos on aktiivisen liitoksen kopio. Ohjelma tallentaa automaattisesti kunkin liitoksen sen hetkisen tilanteen, joten projektin hallinnassa eri liitosten välillä on helppo liikkua ja toimintoa voidaan käyttää esimerkiksi erilaisten ratkaisujen vertailuun.



Kuva 62. Projektin hallinta

Ohjelman ylä laidassa on esitetty seitsemän liitosryhmää, joiden alta löytyvät kaikki ohjelman erilaiset liitostyypit. Valitsemalla tietty liitosryhmä päivittyy projektihallinnan vieressä oleva liitostyyppi valikoima vastaamaan tätä tiettyä ryhmää. Mitoitus aloitetaan valitsemalla näistä liitostyypeistä sopiva. Liitostyyppin vaihtaminen pyyhkii liitoksen





edellisen sisällön. Tästä näytetään varoitusteksti, jotta käyttäjä ei tuhoa vahingossa tärkeää liitosta (kuva 63).

Kuva 63. Liitostyyppin vaihdoksen aiheuttama varoitusteksti

Liitoksen mitoittaminen tapahtuu ohjelman keskellä eri välilehdillä. Välilehtien määrä ja sisältö riippuvat mitoittavasta liitostyypistä. Seuraavassa on esitelty yksittäisen liittimen kapasiteetin mitoitukselta ruuvien mitoitusvälilehdet ja puuosien välisen eikkausliitoksen välilehdet. *Perustiedot*-välilehti on kaikissa liitostyypeissä sama. Tälle sivulle täytetään projektin tiedot, kuten suunnittelijan nimi ja rakenneosan tunnus (kuva 64).

Kuva 64. *Perustiedot*-välilehti

Yksittäisillä liittimillä mitoitusparametrien täyttäminen on jaettu kahdelle välilehdelle. *Puuosat*-välilehdellä täytetään liitoksen yhdistämien osien tiedot, kuten materiaalit ja dimensiot. Lisäksi määritellään tarvittavat tiedot kuormituksen luonteesta (aikaluokka, kuorman suunta osien syysuuntaan nähden). Myös liitoksen käyttöluokka tarvitaan mitoituskestävyyden määrittämisessä tarvittavan varmuuskertoimen laskemiseen. Välilehden sisältö on esitelty kuvassa 65.

Perustiedot	Puuosat	Liitintiedot
	Puuosa 1	 Kerto-S lapeliitos
	Puuosa 2	 Kerto-S lapeliitos
	Käyttöluokka:	 Käyttöluokka 1
	Aikaluokka	 Pysyvä
	Puuosan 1 paksuus:	 27
	Puuosan 2 paksuus:	 51
	Puuosan 1, syiden ja voiman välinen kulma:	 0
	Puuosan 2, syiden ja voiman välinen kulma:	 0

**Kuva 65. Yksittäisen liittimen kapasiteetin mitoituksen *Puuosat*-välilehti**

Varsinainen liittimen mitoittaminen tehdään *Liitintiedot*-välilehdellä. Tämän välilehden sisältö muuttuu valitun liittintyyppin mukaisesti. Välilehdellä valitaan liittimen tyyppi, dimensiot ja lujuusominaisuudet. Ruuvien mitoitukseen tarvittavien parametrien tiedot on esitetty kuvassa 66. Välilehden kentät vaihtelevat tehtyjen tyyppivalintojen mukaisesti. Esimerkiksi *Kannan muoto*-kenttää ei näytetä, jos kiinnikkeen tyyppiksi on valittu yleisruuvi. Samoin esimerkiksi profiloidulle naulalle on määritetty omat kenttensä profiloidun osan määrittämistä varten, joita ei näytetä sileille nauloille.

Perustiedot	Puuosat	Liitintiedot
Kiinnikkeen tyyppi: <span>i</span> Kansiruuvi		
Ruuvalivalikoima: <span>i</span> Oma ruuvi		
Kannan muoto: <span>i</span> Kuusiokanta ilman aluslevyä		
Leikkeisyys: <span>i</span> Yksileikkeinen liitos		
Esiporaus: <span>i</span> Ei esiporausta		
Koko ruuvin pituus (mm): <span>i</span> 50.00		
Kierteisen osan pituus (mm): <span>i</span> 25.00		
Sileän osan halkaisija (mm): <span>i</span> 3.10		
Kierteellisen osan ulkohalkaisija (mm): <span>i</span> 3.10		
Kierteellisen osan sisähalkaisija (mm): <span>i</span> 2.80		
Kannan halkaisija (mm): <span>i</span> 6		
Vetolujuus fu,k (N/mm <sup>2</sup> ): <span>i</span> 600		
Myötömomentti (Nmm): <span>i</span> 0		
Ulosvetolujuus (N/mm <sup>2</sup> ): <span>i</span> 0.000		
Läpivetolujuus (N/mm <sup>2</sup> ): <span>i</span> 0.000		
testituloksen ref. tiheys (kg/m <sup>3</sup> ): <span>i</span> 350		

**Kuva 66. Yksittäisen ruuvin kapasiteetin liitintietojen määrittäminen**

Puuosien välisen leikkausliitoksen mitoistustietoja on jaettua useammalle välilehdelle. *Perustieto*-välilehden lisäksi mitoituksessa käytetään neljää eri välilehteä. *Puuosat*-välilehdellä määritellään liitoksen puuosat (kuva 67). Puuosien määrittelyyn tarvitaan tässä liitoksessa materiaalien ja dimensioiden lisäksi puiden päiden muoto ja ylitykset (liitosalueen rajojen määrittämiseen) sekä puuosien välinen kulma.

Perustiedot	Puuosat	Kuormitus	Liitosalue	Liitintiedot
Puuosat				
Puuosa 1:		Kerto-S lapeliitos		
Puuosan 1 pään muoto:		Puuosan 2 reunan suuntainen		
Puuosa 2:		Kerto-S lapeliitos		
Puuosan 2 pään muoto:		Jatkuva (ei huomioida)		
Puuosien välinen kulma (aste):			45	
Puuosan 1 paksuus (mm):			27	
Puuosan 1 korkeus (mm):			200	
Puuosan 2 paksuus (mm):			51	
Puuosan 2 korkeus (mm):			200	
Puuosan 1 ylitys L1 (mm)			20	

Kuva 67. Puu-puuleikkausliitoksen *Puuosat*-välilehti

Puuosien väliselle leikkausliitokselle täytyy kuormitusta määrittellä tarkemmin kuin yksittäisen liittimen kapasiteetin mitoituksessa (kuva 68). Kahdella toisiinsa nähden kohtisuoralla voimalla ja momentilla voidaan määrittää liitoksen kuormitus. Erilliset arvot tarvitaan murtorajatilan ja käyttörajatilan mitoitukseen, sillä ohjelmaan syötettävät kuormat ovat mitoituskuormia. Murtorajatilan ja käyttörajatilan mitoituskuormat ovat harvoin samoja, koska eri mitoitus tapojen varmuuskertoimet vaihtelevat.

Perustiedot	Puuosat	Kuormitus	Liitosalue	Liitintiedot
Kuormitus				
Käyttöluokka:		Käyttöluokka 1		
Aikaluokka:		Keskipitkä		
MRT kuormitus $F_{xv,d}$ (kN):			10	
MRT kuormitus $F_{yv,d}$ (kN):			0	
MRT momentti $M_{z,d}$ (kNm):			0	
KRT kuormitus $F_{xv,k}$ (kN):			5	
KRT kuormitus $F_{yv,k}$ (kN):			0	
KRT momentti $M_{z,k}$ (kNm):			0	

Kuva 68. Puu-puuleikkausliitoksen *Kuormitus*-välilehti

Liittimen geometria ja lujuusominaisuudet määritetään *Liitintiedot*-välilehdellä, jonka sisältö on samankaltainen yksittäisen liittimen kapasiteetin mitoituksen *Liitintiedot*-välilehden kanssa. Liitinsijoittelu määritetään *Liitosalue*-välilehdellä (kuva 69). Liitostyyppi määrää liitosalueen geometrisen muodon (puu-puuleikkausliitoksella



suorakulmio tai suunnikas osien kulmasta riippuen), mutta käyttäjä voi muokata liitosalueen reunaetäisyyksiä. Liitoksen liitinmäärä määritetään liitinryhmän rivien ja sarakkeiden lukumääränä.

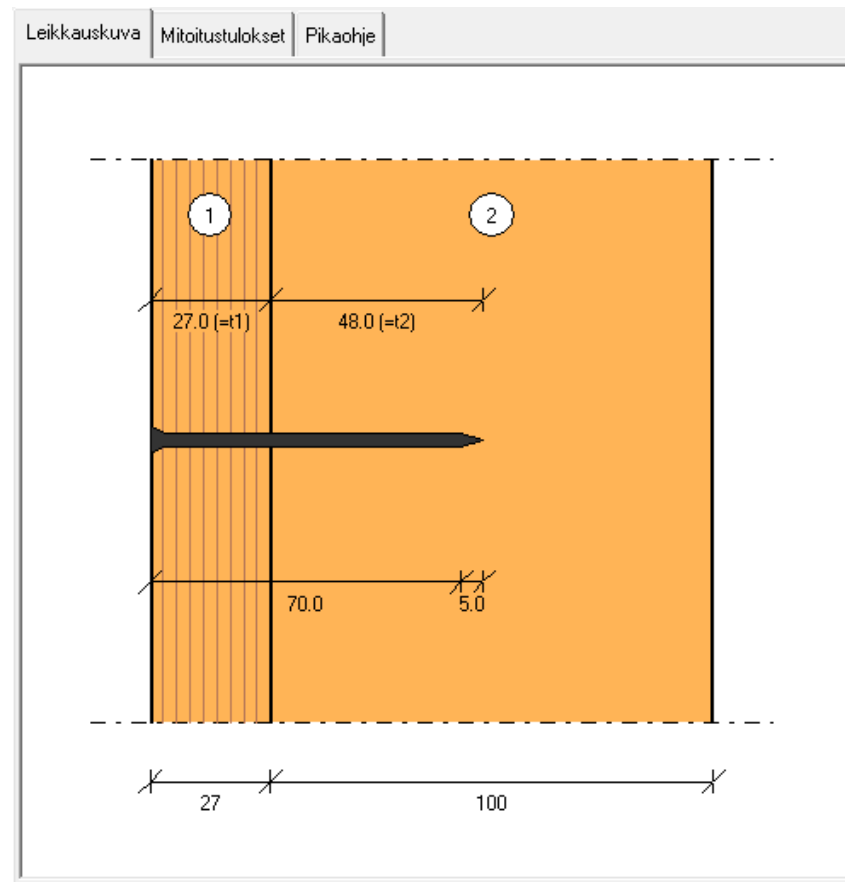
**Kuva 69 Puu-puuleikkausliitoksen liitosalueen määrittäminen**

Ohjelmaan on myös toteutettu liitosryhmän määrittämistä helpottavia työkaluja, jotka toimivat automaattisesti niiden painikkeista (kuva 70). *Vaihda minimietäisyydet vaadituiksi* -painikkeella voidaan määrittää reunaetäisyyksiksi vaaditut minimietäisyydet ja ottaa näin koko sallittu liitosalue käyttöön. *Ota maksimi rivi- ja sarakemäärä käyttöön* -painikkeella voidaan täyttää koko määritetty liitosalue liittimillä. Näin voidaan esimerkiksi nopeasti tarkistaa onko liitos mahdollinen kyseisellä liitostyypillä. *Etsi optimaalinen rivi- ja sarakemäärä* -painikkeella voidaan etsiä pienin mahdollinen liitinmäärä ja sen optimaalisin sijoittelu.

**Kuva 70. Liitinryhmän määrittämisen aputyökalut**

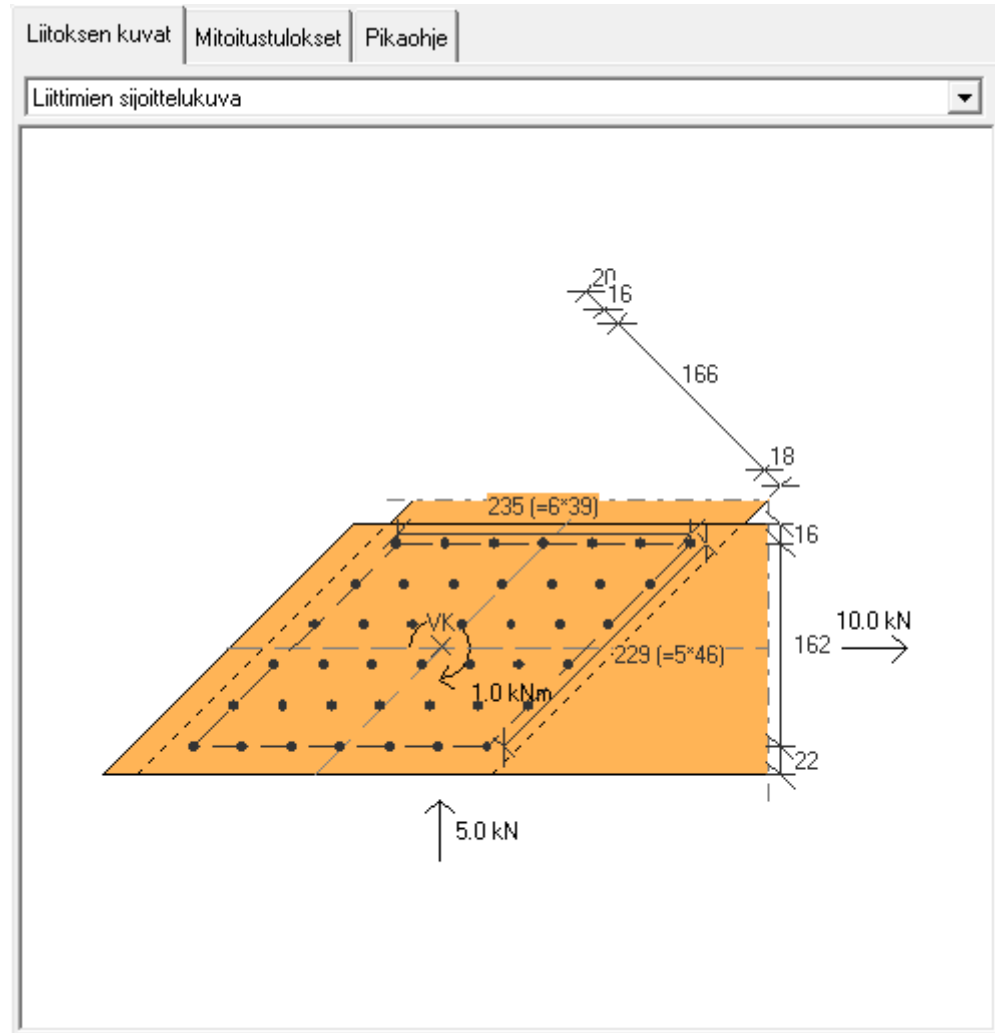
Oikean puoleisessa ikkunassa esitetään kaikille liitostyypeille kolme välilehteä. Mikä tahansa näistä välilehdistä voi olla samaan aikaan näkyvissä minkä tahansa vasemman puoleisen ikkunan välilehden kanssa. Oikean puoleisten välilehtien sisältö päivittyy automaattisesti kun vasemmanpuoleisiin mitoitusvälilehtiin tehdään muutoksia.

Liitoksen tyypistä riippuen siitä esitetään joko leikkauskuva tai leikkauskuva ja liittimien sijoittelukuva. Leikkauskuvassa esitetään osien ja liittimen dimensiot (kuva 71). Kertotuotteilla on esitetty visuaalisesti myös syrjä- ja lapeliitosten ero lapeliitoksen viivoituksen avulla.



**Kuva 71. Syrjäliitoksen leikkauskuva**

Liittimien sijoittelukuvissa (kuva 72) esitetään liittimien sijoittelu ja tähän liittyvät mitat. Mittoja ovat muun muassa liitosalueen reunojen mitat ja liittimien reunaetäisyydet sekä liittimien väliset etäisyydet. Kuvaan merkitään myös liitinryhmän kiertokeskiö. Kuvaan on merkitty myös annetut murtorajatilamitoituskuormat ja niiden suunnat.



Kuva 72. Liittimien sijoittelukuva puuosien väliselle leikkausliitokselle

*Mitoitustulokset*-välilehdellä esitetään mitoituksen tarkat tulokset (kuva 73). Tällä välisivulla voi siis esimerkiksi tarkastella välituloksia (reunapuristuslujuudet, ulosvetolujuus, eri murtotapojen kestävyys). Tämä eroaa ohjelman alalaidan kolmannesta ikkunasta, joka on koko ajan esillä (kuva 74).

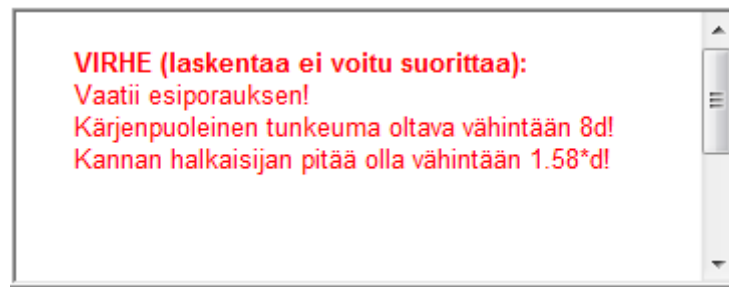
Liitoksen kuvat	Mitoitustulokset	Pikaohje	
<b>Yksileikkeinen liitos</b>			
Fv,Rk (a):	5994 N/leike		
Fv,Rk (b):	11322 N/leike		
Fv,Rk (c):	4245 N/leike		
Fv,Rk (d):	2720 N/leike		
Fv,Rk (e):	4470 N/leike		
Fv,Rk (f):	2343 N/leike		
Fv,Rk:	2343 N/liitin		
Fv,Rd:	1562 N/liitin		
<b>LIITINSIJOITTELU</b>			
Sisäinen liitosmomentti:	1.70 kNm		
Kapasiteetti:	Rasitus:	Käyttöaste:	
Vähiten rasitettu liitin:	1440 N	264 N	18.3 %
Rasitetuin liitin:	1410 N	1386 N	98.3 %
Pienin liitinkapasiteetti:	1410 N	1386 N	98.3 %
<b>Määrävin liitin:</b>	<b>1410 N</b>	<b>1386 N</b>	<b>98.3 %</b>
<b>HALKEAMISKESTÄVYYS</b>			
	Puuosa 1:	Puuosa 2:	
Halkeamiskestävyys:	11.33 kN	10.93 kN	
Leikkausvoiman mitoitusarvo:	7.50 kN	5.30 kN	
Käyttöaste:	66.2 %	48.5 %	
<b>LOHKEAMISKESTÄVYYS</b>			
	Puuosa 1:	Puuosa 2:	
Lohkeamiskestävyys:	41.60 kN	145.21 kN	
Syysuuntainen voimakomp.:	15.00 kN	15.91 kN	
Käyttöaste:	36.1 %	11.0 %	
<b>SUURIN KÄYTTÖASTE:</b>	<b>98.3 %</b>	<b>OK</b>	
<b>HETKELLISET SIIRTYMÄT</b>			

**Kuva 73. Mitoitustulokset-välilehti**

Ohjelman alalaidassa esitetään tärkeimmät mitoitustulokset lyhyesti (kuva 74), jotta ne ovat koko liitosmitoitusprosessin ajan esillä. Ikkunassa esitetään keskeisimmät liitoksen kestävyteen liittyvät tiedot ja tulokset, joiden avulla pyritään havainnollistamaan mahdollisimman selkeästi liitoksen kestävyys. Ilmoitettuja tietoja ovat: yksittäisen liittimen kestävyys, liittimelle tuleva kuorma, näistä saatava käyttöaste, liitoksen halkeamiskestävyys, syysuuntaan kohtisuora kuormakomponentti, näistä saatava käyttöaste sekä liitoksen lohkeamiskestävyys, syysuuntainen kuormakomponentti ja näistä saatava käyttöaste. Ikkunassa esitetään myös varoitukset ja ohjeet, jos liitos ei ole esimerkiksi liian pienien tunkeumien vuoksi mahdollinen (kuva 75).

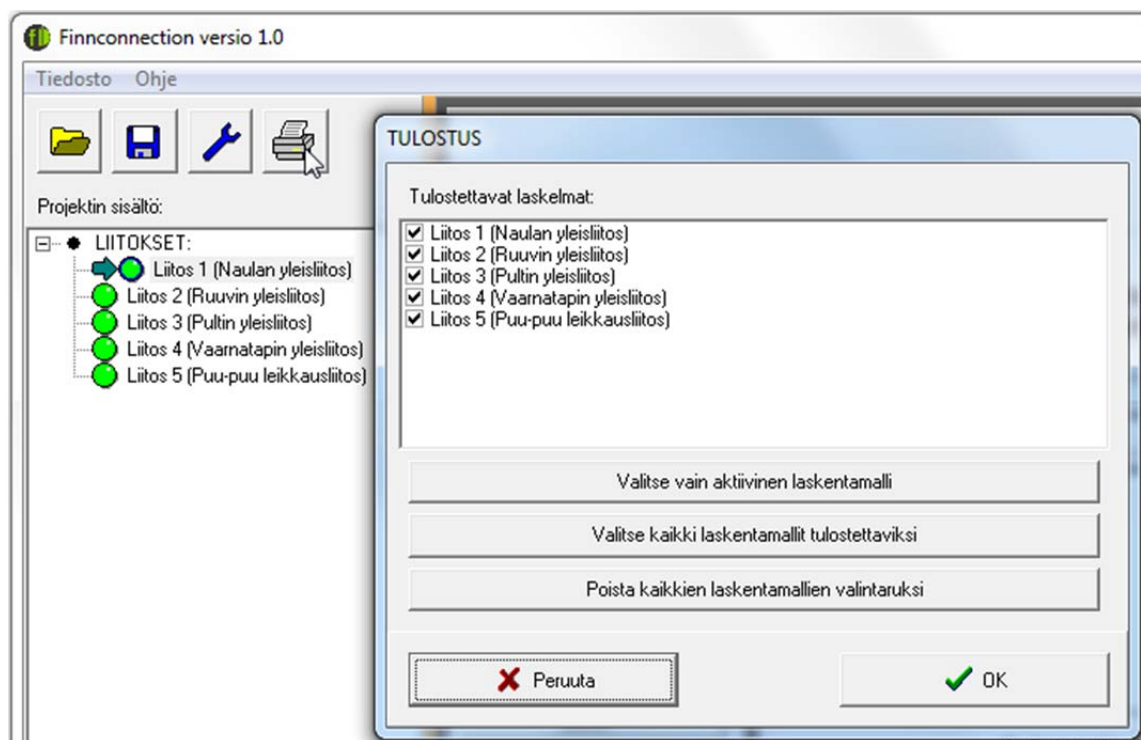
<b>LASKENNAN PÄÄTULOKSET:</b>	
Määrävin liitin:	98.3 %
Halkeamiskestävyys:	66.2 %
Lohkeamiskestävyys:	36.1 %
Tehollisien liittimien tarkistus:	- %
<b>Suurin käyttöaste:</b>	<b>98.3 %</b>

**Kuva 74. Laskennan päätiedot**



Kuva 75. Ohjelman virheilmoituksia

Projektipuun yläpuolella on pikavalinnat mitoitusprojektin avaamiseen, tallentamiseen, tulostamiseen ja asetusten määrittämiseen. Tulostuksen voi tehdä valitsemistaan liitoksista (kuva 76).



Kuva 76. Tulostusvalikko

Tulosteisiin on jäsennelty kaikki liitoksen mitoituksessa käytetyt lähtötiedot, välitulokset ja lopulliset tulokset. Liitoksesta esitetään myös detaljikuvat. Esimerkkejä liitosten tulosteista on esitetty liitteissä D2, D4, D6, D8 ja D11.

## 6.7 Testaus

### 6.7.1 Testaussuunnitelma

Hyvällä testaussuunnitelmalla voidaan varmistaa, että testaus kattaa kaikki ohjelman toiminnallisuudet, ja että testaus on mahdollisimman tehokasta, nopeaa ja helppoa. Jos testaukseen osallistuu useampia testaajia, saadaan hyvän testaussuunnitelman avulla testaajilta paremmin keskenään verrattavissa olevia testituloksia. Näin vältetään myös turha päällekkäisen työn tekeminen.

Mitoitusohjelman tärkein ominaisuus on laskentatulosten luotettavuus. Laskentatulosten tarkastamiseen tulee varata riittävästi resursseja, jotta testauksen päätteeksi voidaan laskentatulosten todeta noudattavan yleisiä mitoitusohjeita. Laskentatuloksia voidaan testata vertaamalla ohjelmasta saatavia tuloksia käsin tehtyyn laskentaan tai toisesta ohjelmasta saataviin luotettaviin tuloksiin, jos ohjelmien voidaan olettaa antavan samoilla lähtöarvoilla samat tulokset. Muita ohjelmia voidaan käyttää yksittäisten ominaisuuksien tai välitulosten arviointiin.

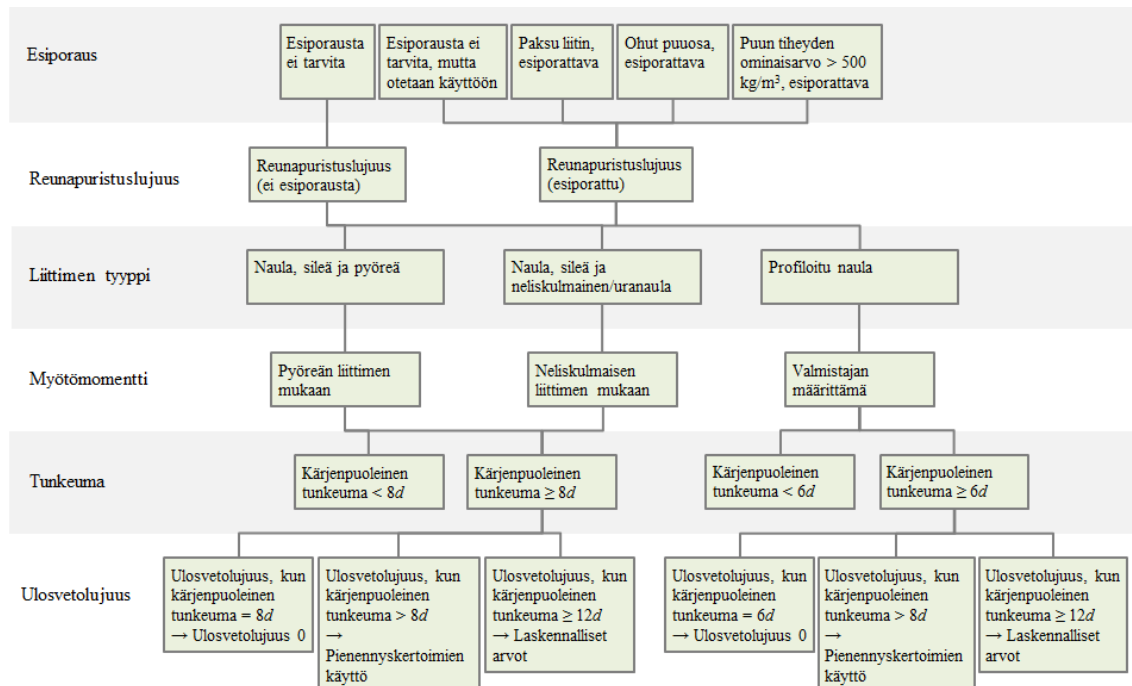
Testaus suunniteltiin kolmitasoiseksi. Ensimmäisessä tasossa testauksen teki diplomityöntekijä, joka toimitti liitosten määritelmät ohjelmoijalle. Tässä testauksessa verrattiin siis määritelmien ja toteutuneen toiminnallisuuden eroja puhtaasti teoreettisilla tapauksilla. Tavoitteena oli käydä läpi kaikki mahdolliset vaihtoehdot ja niiden vaikutus mitoitukseen.

Kun ensimmäisessä tasossa ei enää löydetty virheitä ja kaikki havaitut ongelmakohdat oli selvitetty, annettiin ohjelma TkT Ari Kevarinmäen tarkastettavaksi. Tällä testauskierroksella pyrittiin löytämään viimeisetkin sellaiset kohdat, jotka olivat määritelmässä tulkittu vajavaisesti tai virheellisesti.

Kolmannen tason testaukseen osallistuivat Metsä Woodin tutkimus- ja kehitysryhmästä kehitysinsinööri Jussi Björman ja suunnittelupäällikkö Henri Salonen. Heidän toivottiin testaavan ohjelmalla todellisia oikeita liitoksia, jolloin saatiin arvokasta palautetta ohjelman käytöstä käytännössä.

### Yksittäisen liittimen kapasiteetin mitoitusyökalun testaaminen

Ohjelman testauksessa tulisi pyrkiä siihen, että kaikki mahdolliset ehtolausekkeiden haarat käydään vähintään kertaalleen läpi. (25 s. 8) Kuvassa 77 on esitetty yksittäisen naulan kapasiteetin testauskaavio, jossa on havainnollistettu mitoitusohjeista syntyviä ohjelmoinnin ehtolausekkeitä.



Kuva 77. Naulan kapasiteetin testauskaavio

Kuvan 77 kaaviossa on käyty läpi yksittäisen naulan kapasiteetin mitoituksen eteneminen erilaisissa EC5-standardin mukaisissa tapauksissa. Yhteensä kaaviossa on esitetty 60 erilaista testauspolkua. Näistä kaikkia ei kuitenkaan ole mielekästä tai tarpeellista käydä läpi tai ne voidaan käydä läpi nopeasti, sillä eri vaihtoehtojen väliset riippuvuussuhteet ovat rajallisia. Esimerkiksi esiporaus ei vaikuta ulosvetokestävyyteen, joten tärkeintä on siis tutkia niin monta tapausta kuin vaaditaan kaikkien kaaviossa kuvattujen tilanteiden tarkistamiseen. Erityisesti tulee kiinnittää huomiota niihin kohtiin, joissa laskenta muuttuu. Kaaviossa ei ole esitetty kaikkia laskennan välivaiheita ja niissä tarkastettavia välituloksia. Testauksen kattavuutta voidaan parantaa, jos kaikissa testaustapauksissa tarkastetaan kaikki välivaiheiden tulokset kuten reunapuristuslujuudet, ulosvetolujuuksien ominaisarvot ja liitossiirtymät. Testauksessa tarkistettavat kohdat eri liitintyypeille on listattu liitteissä C1, C2, C3 ja C4.

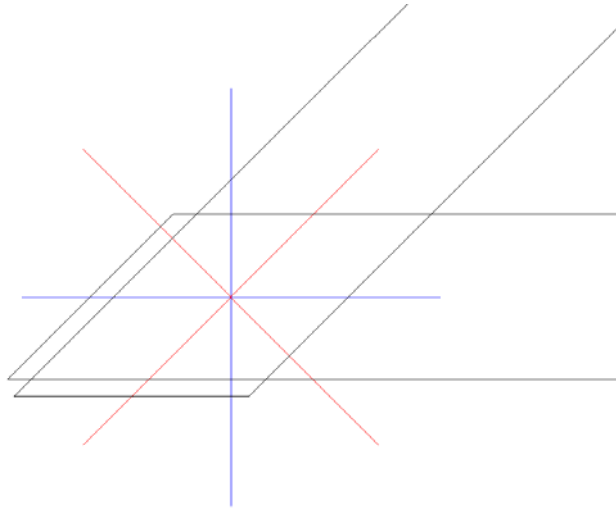
### **Puu-puuleikkausliitoksen testaus**

Puu-puuleikkausliitoksen testauksessa tulee tarkistaa seuraavat pääasiat:

- Liittimen kapasiteetin mitoitus
- Liittimien sijoittelun reunaehdot
- Liitinryhmän sijoittelu
- Liitoksen kapasiteetti
- Liitoksen optimointi

Liittimen kapasiteetin mitoitus voidaan tarkistaa samoilla menetelmillä kuin yksittäisen liittimen kapasiteetin mitoitus omana työkaluna ja tarkistettua yksittäisen liittimen kapasiteetin mitoitus työkalua voidaan käyttää tässä apuna. Liitinsijoittelun reunaehdoja ja paksujen liittimien reunapuristuslujuutta varten täytyy selvittää liittämiin kohdistuvan kuormituksen suunta. Momentittomassa liitoksessa tämän voidaan olettaa olevan sama, kuin voimien resultantin suunta, mutta jos liitoksessa on momenttia (joko ulkopuolista tai epäkeskisen liitinryhmän painopisteen aiheuttamaa), tulisi jokaiseen liitimeen kohdistuva kuormitus ja sen suunta tarkistaa erikseen.

Reunaehtojen tarkistuksen tekevät monimutkaiseksi ja työlääksi käsitteet *kuormitettu reuna* ja *kuormittamaton reuna*. Reunaetäisyydet riippuvat siitä onko kyseinen reuna kuormitettu vai kuormittamaton. Tämä taas riippuu voimaresultantin suunnasta, joten resultantin vaikutus reunojen kuormitukseen on testattava kaikilla vaihtoehdoilla. Vaihtoehdot määrittyvät sen mukaan missä kohtaa reunojen kuormitus muuttuu. Lisäksi tulisi tarkistaa rajakohdat, joissa kuormitus resultantti on jonkin osan syysuunnan suuntainen eikä kumpaakaan reunaa voida määrittää kuormitetuksi. Reunaehtojen tarkistuslohkot on esitelty kuvassa 78.



**Kuva 78. Liittimien sijoittelun reunaehdot tarkastuksen lohko-kaavio, kun puuosien välinen kulma on 45°**

Reunaehdot tarkistettiin siis niin, että kuormaresultantti osoitti vuorollaan jokaiseen lohkoon ja näiden väliseen rajaan. Jokaisessa lohossa jonkin reunarajoituksen oletettiin muuttuvan, koska kuormitetut/kuormittamattomat reunat muuttuivat. Reunaehdot lisäksi tarkistettiin liittimien minimivälit. Jokaisella kuormituksella tutkitaan siis 10 lukua (2 x 4 reunaehto ja 2 liitinväliä), joten yhdellä puuosien välisellä kulmalla tulee tarkistettavia lukuja yhteensä 160. Testauksen kattavuuden vuoksi testausta pitäisi tehdä ainakin ääritapauksilla (puuosien välinen kulma 0° ja 90°) ja puolessa välissä (puuosien välinen kulma 45°). Testauksen kattavuuden varmistamiseksi tulisi tarkistaa näistä väleistä vielä vähintään kaksi tapausta (yhteensä 800 tarkistettavaa lukua), jos resursseja kattavamman esimerkiksi 5° välein (yhteensä 3040 tarkistettavaa lukua) tehtävään tarkastukseen ei ole. Jos kaikissa tarkastuskohdissa havaitaan merkittävästi virheitä, tulisi erilaisia tapauksia tutkia vähintään niin monta, ettei uusia virheitä enää löydetä. Kuormitusten suunnilla on merkitystä myös halkeamiskestävyyden määrittämisessä ja momenttiliitoksissa, joten myös halkeamiskestävyys ja momenttiliitoksissa kuorman jakautuminen liittimelle on tarkastettava eri kuormitus suunnilla.

Liitoksen kapasiteetti ja optimointi tulisi tarkastella laskennallisesti vertailemalla laskentapohjien tuloksiin. Samanlaisia selkeitä haarautumia kuin kuvassa 76 esitettiin naulaliitoksille, ei koko liitoksen mitoitukselle pystytty tunnistamaan. Suurimmat erot syntyvät liittinten sijoittelun vaikutuksesta, joten kapasiteetti tulisi testata mahdollisimman monipuolisesti erilaisilla liittinsijoitteluilla. Näitä ovat esimerkiksi:

- Eri liittintihyysien testaus
  - Tiivis sijoittelu
  - Laaja sijoittelu
- Eri muotojen testaus
  - Rivejä ja sarakkeita yhtä monta
  - Jompaakumpaa enemmän
- Liittinsijoittelun vaikutus reunapuristuslujuuteen paksuilla liittimillä
- Momenttiliitokset
  - Sisäinen liitosmomentti ja ulkoinen kuormitusmomentti
  - Momentin vaikutus liitinrasitukseen



### 6.7.2 Laskentatulosten analysointi

Laskentatuloksia voidaan analysoida vertaamalla ohjelman tuloksia käsin laskettuihin tuloksiin tai toiseen ohjelmaan, jossa laskennan voidaan olettaa tuottavan samoista lähtöarvoista samat tulokset.

Metsä Woodin liitosmitoitushjelmaan sisällytettiin yksittäisen liittimen kapasiteetin mitoitukseen oma työkalunsa. Tämän työkalun tuloksia sovelletaan myös muissa liittostyypeissä. Yksittäisen liittimen kapasiteetin mitoituksen tuloksia verrattiin tanskalaiseen SømDIM-ohjelmaan ja käsin tehtyyn laskentaan MathCAD-pohjilla. Myös Excel-taulukkolaskentaohjelmaa voidaan käyttää laskentatulosten tarkastukseen. MathCAD- ja Excel-pohjat mahdollistavat erilaisten mitoitustilanteiden nopean tarkastelun sillä hyvin tehdyssä pohjassa voidaan helposti tutkia lähtöarvojen vaikutusta mitoitustulokseen. Liitteessä D on esitetty laskentatulosten analysoinnissa käytettyjä MathCAD-pohjia ja niitä vastaavia liitosmitoitushjelman tulosteita.

### 6.7.3 Käyttöliittymän arviointi

Käyttöliittymän arvioinnissa on kiinnitettävä huomiota ohjelman käytettävyyteen ja käyttöliittymän virheettömyyteen. Käyttöliittymän käytettävyyttä tulisi arvioida esimerkiksi valikkorakenteiden mitoitusprosessin mielekkyyden perusteella.

Käyttöliittymän testaukseen kuuluu kaikkien painikkeiden ja syöttöikkunoiden toiminnan tarkastus. Ohjelman kaikkien painikkeiden on toimittava oikein. Syöttöikkunoihin on usein syytä asettaa rajoituksia, jotka ohjaavat käyttäjää valitsemaan esimerkiksi liittimien parametreiksi arvoja, joilla laskenta voidaan suorittaa. Näiden rajoituksien toiminta on testattava.

Muita käyttöliittymän testauksessa huomioitavia asioita ovat:

- Tekstit mahtuvat niille osoitettuihin paikkoihin
- Tekstit ja merkinnät eivät mene päällekkäin
- Käyttöliittymässä käytetyt värit ovat selkeitä

Käyttöliittymän testauksen yhteydessä korjattiin muun muassa ohjelman väritystä ja fontteja. Lisäksi päivitettiin termistöä: vaarnatappi tappivaarnaksi ja suojaetäisyys reunaetäisyydeksi.

### 6.7.4 Testauksen tulokset

Testaus osoitti, että liitosmitoitus on monimutkaista ja vaatii tarkkuutta, joten tarvetta luotettavalle liitosmitoitushjelmalle voidaan olettaa olevan. Testauksessa tunnistettiin erilaisia tulkintaongelmia, joissa eurokoodissa annettujen ohjeiden soveltamista jouduttiin pohtimaan tarkemmin sekä puhtaita huolimattomuusvirheitä.

#### Yksittäiset liittimet

Sekä tunkeumien määrittämisessä että niiden käyttämisessä mitoituksessa havaittiin ongelmia erityisesti kaksileikkeisissä tapauksissa. Erityisesti kärjenpuoleisen tunkeuman määrittäminen on oleellista mitoituksessa. Testauksessa havaittiin muun muassa, että kaksileikkeisissä liittoksissa kärjenpuoleiseksi tunkeumaksi oli määritelty keskimmäisen puuosan leveys, eikä kärjenpuoleista tunkeumaa kolmannessa puuosassa. Vuonna 2014 EN-1995-1-1 julkaistun muutoksen A2 mukaisesti naulan kärjen pituutta ei huomioida naulan aksiaalista pituutta määriteltäessä. Myös tämä aiheutti virheitä tunkeumien määrittämiseen, sillä kärki vähennettiin aluksi myös leikkauskestävyyden

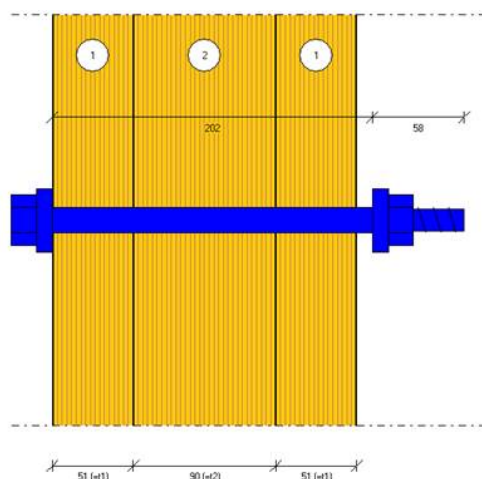
kaavoissa käytettävistä kärjenpuoleisista tunkeuma-arvoista. Muutoksella A2 tulisi olla vaikutusta vain naulojen aksiaalisen kapasiteetin mitoituksessa.

Testauksessa tarkistettiin myös laskennassa käytettävien rajoitusten käyttöä. Erityisesti nauloilla tietyissä tapauksissa mitoitus estetään osittain tai kokonaan, vaikka laskennallisesti liittimelle olisi mahdollista saada kapasiteettia. Tämä koskee muuan muassa naulojen tunkeumia ja profiloitujen naulojen ulosvetolujuuden ominaisarvoa. Testauksen jälkeen ohjelman toimintaa korjattiin niin, että naulojen kärjenpuoleisen tunkeuman ollessa alle  $8d$  sileillä nauloilla ja  $6d$  profiloituilla nauloilla keskeytettiin laskenta ja käyttäjälle näytettiin tästä ilmoittava varoitusteksti. Profiloituilla nauloilla alle  $4,5 \text{ N/mm}^2$  ulosvetolujuuden ominaisarvoilla naulan ulosvetokestävyys oletetaan nolllaksi.

Sileiden naulojen laskennallisille ulosvetolujuuden ja läpivetolujuuden ominaisarvoille on asetettu ehdot ja kaavat EN-1995-1-1 kohdissa 8.3.2(6) ja 8.3.2(7). Testauksen yhteydessä pohdittiin kohdan 8.3.2(7) pienennyskertoimien käyttöä sileiden naulojen laskennallisten ulosvetolujuuksien ja läpivetolujuuksien ominaisarvojen kanssa, jos naulan kärjenpuoleinen tunkeuma on välillä  $8d \leq t_{pen} < 12d$ . Kohdan 8.3.2(6) tiukan tulkinnan mukaan laskennallisia kaavoja voitaisiin käyttää vain sileillä nauloilla joiden kärjenpuoleinen tunkeuma on vähintään  $12d$ . Kohtia päätettiin kuitenkin tulkita yhdessä niin, että laskennallisia arvoja voidaan pienennettyinä käyttää myös nauloilla, joiden tunkeuma on alle  $12d$ .

Ruuviliitosten testauksen yhteydessä todettiin ongelmia erityisesti liittimen tehollisen halkaisijan määrittelyssä ja tehollisen halkaisijan käytössä. Ruuvin geometrian määrittelyssä käytetään kierteiden vuoksi useita eri halkaisija-arvoja ja näistä riippuen myös ruuvien tehollisen halkaisijan määrittäminen vaihtelee hieman. Testauksen yhteydessä kiinnitettiin siis erityishuomiota siihen, että teholliset halkaisijat määritettiin oikein ja, että niitä käytettiin oikeissa kohdissa. Eurokoodi 5 muutoksessa A2 ruuvien tehollisen halkaisijan käyttöä onkin pyritty selventämään. (10 s. 6)

Pulteilla tehtävien liitosten kohdalla testauksessa havaittiin määrittelyn puutteellisuutta ja virheitä lähinnä aluslaatan käytössä ja toiminnassa. Pultin tulisi kiristyä tiukasti puuosia vasten (8 s. 95), mutta pultin pituudessa ei huomioitu pultin alkupään aluslaattaa ollenkaan, jolloin kuvan 79 mukainen liian lyhyestä kierteisestä osasta syntyvä rako ei aiheuttanut kuvan mukaista varoitusta. Lisäksi pohdittiin aluslaatalle annettuja geometrisia ehtoja (8 s. 95) ja näiden vaikutusta mitoitukseseen. Lopulta päädyttiin ratkaisuun, jossa pultin ulosvetokestävyys oletetaan nolllaksi, jos aluslaatan dimensiot eivät täytä vaatimuksia. Tästä toiminnallisuudesta lisätään ohjelmaan ohjeet ja dimensiorajoitukset ilmoitetaan selkeästi. Myös aluslaatan alan vaikutusta korjattiin niin, että aluslaatatassa oletetaan aina olevan suurin mahdollinen reikä pulttia varten (pultin halkaisija + 2 mm tai  $0,1d$  mm).



Kuva 79. Pultin liian lyhyt kierteinen osa ja tästä johtuva varoitus

Tappivaarnan testaukseen mennessä oli muiden liittimien testauksessa jo löydetty ja korjattu suurimmat mitoituksen ongelmat, joten tappivaarnojen testauksessa löydettiin enää vaarnan pituuden määrittämiseen tarvittavia parannuksia. Lähtökohtaisesti oletettiin, että tappivaarna ulottuisi yhdestä puupinnasta toiseen, joten tappivaarnan pituuden määrittämiseen riittäisi tieto puuosien paksuudesta. Tappivaarna voi kuitenkin olla myös puuosia pienempi, jolloin tappivaarna voidaan suojata palotilanteissa tai esteettisyyden vuoksi ylimääräisellä puutapilla. Tappivaarnan pituus päätettiin määrittää upotussyvyyksinä kummastakin reunasta kuvan 80 mukaisesti.

Perustiedot	Puuosat	Liitintiedot	Leikkauskuva	Mitoitustulokset	Pikaohje
Tuotevalikoima: <span style="color: green;">1</span> Oma tappivaarna					
Nimellishalkaisija (mm): <span style="color: green;">1</span> 6.0					
Upotussyvyys vasemmasta reunasta (mm): <span style="color: green;">1</span> 5					
Upotussyvyys oikeasta reunasta (mm): <span style="color: green;">1</span> 5					
Velolujuuden ominaisarvo (N/mm <sup>2</sup> ): <span style="color: green;">1</span> 600					
Myötömomentti (Nmm): <span style="color: green;">1</span> 6617					

Kuva 80. Tappivaarnan parametrit

Puhtaita huolimattomuusvirheitä havaittiin liitossiirtymän määrittelyssä. Liitossiirtymän määrittämisessä käytetään esiporaamattomille nauloille eri kaavaa kuin muille liittimille. Ensimmäisissä määritelmässä nämä kaavat olivat menneet väärinpäin, joten kaikki liitossiirtymät olivat testauksen alussa väärin.

### Puosien välinen leikkausliitos

Liittimien sijoittelua määrittävien minimireunaetäisyyksien tarkastuksessa löydettiin ensimmäisellä kierroksella paljon virheitä. Liitintäisyyksille oli saatu oikeita arvoja, mutta usein vastakkaisten reunojen suojaetäisyydet olivat väärinpäin, sillä reunojen kuormitus oli tulkittu väärin. Liitoksen kuormitus suunnissa havaittiin ongelmia myös

halkeamismurtuman yhteydessä, sillä kuormituksen suunta voidaan tulkita väärin myös kuormitetusta reunasta kauimmaisena sijaitsevan liittimen asemaa  $h_e$  määritettäessä.

Momenttiliitoksissa liittimille tuleva kuormitus momentista vaihtelee liittimen sijainnin mukaan. Kuormituksen vaihtuessa myös kuormituksen ja syysuunnan välinen kulma vaihtuu, joten jokaiselle paksulle liittimelle, jonka reunapuristuslujuuteen kuormituksen ja syysuunnan välinen kulma vaikuttaa, saadaan oma kapasiteettinsa ja kuormansa. Tämä ominaisuus oli jäänyt aluksi puuosien välisestä leikkausliitoksesta toteuttamatta ja liittimien reunapuristuslujuudet laskettiin kaikille liittimille liitoksen kokonaisvoimaresultantin kulman perusteella. Lopullisessa tarkistuksessa havaittiin, että liitinrasituksen ja puun syyosan välinen kulma määritettiin osassa tapauksista väärin. Erilaistin kuormitusyhdistelmien ja momenttien vaikutusta kulmiin on siis testattava tarkasti.

Lohkeamismurtokestävyyden tarkistamisesta ei löydetty merkittäviä mitoituksellisia tai ohjelmointiin vaikuttavia haasteita testauksen yhteydessä. Lohkeamismurtokestävyysmitoituksen toteuttaminen vaatii kuitenkin tarkkuutta sillä esimerkiksi Kerto-tuotteiden pulteille ja tappivaarnoille käytettävän lohkeamismurtotarkastelun menetelmässä on useita toisiaan muistuttavia kaavoja, jotka altistavat menetelmän ohjelmoinnin huolimattomuusvirheille. Sekä määrittelystä, että toteutuksesta löydettiin tällaisia virheitä testauksen yhteydessä. Määrittelyyn oli kirjoitettu ylimääräinen virheellinen kaava ja ohjelman koodiin oli tehty näppäilyvirheitä. Näin esimerkiksi tiettyjen suureiden alaindeksit olivat väärin ja tulos täten virheellinen.

### Käytettävyys

Projektipuun toiminnassa havaittiin jonkin verran ongelmia testauksen yhteydessä. Eri liitosten on tarkoitus tallentua reaaliajassa projektipuuhun, jolloin niiden välinen vertailu on helppoa. Testauksen yhteydessä havaittiin kuitenkin, että liitoksesta toiseen vaihdettaessa liittimen parametrit vaihtuivat takaisin oletusarvoiksi. Samoin uutta liitosta luotaessa liittimen parametrit palasivat näihin oletusarvoihin, vaikka uuden liitoksen tulisi olla tarkka kopio aktiivisesta liitoksesta.

Myötömomentti voidaan määritellä joko syöttämällä arvo käsin tai käyttämällä laskennallisia kaavoja. Testauksessa havaittiin, että syötettävälle arvolle oli asetettu ylärajaksi 9999 Nmm, joka varsinkin paksuilla liittimillä on turhan alhainen sillä esimerkiksi 30 mm pultin laskennallinen myötömomentti lujuusluokassa 10.9 on yli 2 000 000 Nmm. Myötömomentin yläraja nostettiin lopulta kaikilla liittimillä arvoon 10 000 000 Nmm.

Liitinvalikoiman toimintaa parannettiin testauksen jälkeen pulttien ja tappivaarnojen osalta. Nauloilla ja ruuveilla liitinvalikoimassa on määritelty myös liittimien pituus. Pulteilla ja tappivaarnoilla valikoimassa on kuitenkin listattu vain liittimien M-arvot, joiden perusteella määritetään liittimen halkaisija, kierteisen osan halkaisija ja jännityspoikkipinta-ala. Testauksessa todettiin pultin pituuden palautuvan oletusarvoon 50 mm, mutta pituuden säilyminen pulttiluokkaa vaihdettaessa todettiin olevan mielekkäämpi toiminnallisuus.

Ohjelmassa huomattiin myös eroa pilkun ja pisteen käytössä desimaalien erottajana. Pilkkua käytettäessä annettu luku pyöristyi alaspäin pienempään kokonaislukuun, jolloin esimerkiksi profiloituneen naulan ulosvetolujuuden ominaisarvoksi määritettiin nolla myös  $4,5 \text{ N/mm}^2$  suuremmilla arvoilla  $4,6 \dots 4,9 \text{ N/mm}^2$ , koska näiden lukujen tulkittiin olevan  $4,0 \text{ N/mm}^2$ . Pistettä käytettäessä profiloitujen naulojen

ulosvetokestävyys määritettiin oikein. Ohjelmassa haluttiin sallia molempien merkintätapojen käyttö, koska kumpakaan tapaa esiintyy muissa laskentaohjelmissa yleisesti, vaikka suomenkielessä on pilkku desimaalin merkki. Esimerkiksi MathCAD-ohjelmaa paljon käyttävät voivat kuitenkin olla tottuneita pisteen käyttäjiä desimaalien erottajana.

## 6.8 Ohjeet ohjelman maaversioiden tekemiseen

Tällä hetkellä Metsä Wood on julkaissut rakenneosien mitoittamiseen soveltuvan Finnwood-ohjelman useassa eri Euroopan maassa ja Yhdysvalloissa. Eurooppaan kehitettyjen versioiden sisältö pohjautuu eurokoodien mitoitusohjeisiin kansallisine poikkeuksineen, mutta Yhdysvalloissa rakenteiden mitoitus pohjautuu muihin standardeihin, eikä tässä osiossa oteta kantaa mahdollisen Yhdysvaltoihin suunniteltavan liitosmitoitusohjelman sisältöön.

Luvussa 3.8 todettiin EN-1995-1-1-standardin sisältävän hyvin vähän kansalliseen valinnan sallivia mitoituskohtia. Kullakin maalla voi olla kuitenkin esimerkiksi omia ristiriidattomia dokumentteja (NCCI = non contradictory complementary information), joita voidaan käyttää yhdessä Eurokoodien mukaisen mitoituksen kanssa.

Kansallisten versioiden luomisessa tulee huomioida seuraavat asiat:

### 1. Kansallinen rakennustapa ja sen vaikutus liitosvalikoimaan

Kansalliseen liitosmitoitusohjelmaan ei ole syytä sisällyttää liitostyyppejä, joita kyseisessä maassa ei ole käytössä. Esimerkiksi Iso-Britanniassa ei tällä hetkellä käytetä Kerto-Ripa-elementtejä, joten Kerto-Ripa-elementtien sisällyttäminen Iso-Britanniassa julkaistavaan ohjelmaan on turhaa ja voi pahimmillaan johtaa käyttäjiä harhaan.

Kansallisen version julkaisua varten tulisi myös arvioida jo ohjelmaan luotujen liitostyyppien käyttö uuden kansallisen version maassa. Resursseja ei kannatta käyttää sellaisen kansallisen version luomiseen, jossa ei esiinny sellaisia liitostyyppejä, jotka ovat yleisessä käytössä kyseisessä maassa. Kansallisen version luomisen yhteydessä voidaan myös toteuttaa ohjelmaan uusia liitostyyppejä. Tällöin on arvioitava toteuttavasta liitoksesta saatava hyöty kyseisen maan kansallisessa versiossa.

### 2. Kansalliset poikkeamat osavarmuusluvuissa ja muissa kertoimissa

Ohjelma on suunniteltu niin, että laskentaa varten syötetään ohjelmaan mitoituskuormat eikä ominaiskuormia. Kansallisia poikkeamia ei kuormien yhdistelyssä ja näihin liittyvissä kertoimissa tarvitse siis huomioida.

Materiaalien osavarmuuslukujen kansalliset arvot tulee huomioida. Osavarmuuslukua  $\gamma_M$  käytetään laskettaessa liitoksen kestävyuden mitoitusarvoa. Joissakin maissa saatetaan liitoksille käyttää erillistä liitosten osavarmuuslukua. Kansallista versiota luotaessa on selvitettävä kyseisen maan osavarmuusluvut ja se, käytetäänkö liitoksille liitettävien puuosien osavarmuuslukuja vai onko puurakenteiden liitoksille määritetty oma osavarmuuslukunsa.

Virumaluvun  $k_{def}$  ja muunnoskertoimen  $k_{mod}$  arvot on taulukoitu. Virumaluvun  $k_{def}$  arvo riippuu käytettävästä materiaalista ja rakenteen käyttöluokasta. Muunnoskertoimen  $k_{mod}$  arvo riippuu käytettävästä materiaalista, rakenteen käyttöluokasta ja kuorman aikaluokasta. Virumaluvun ja muunnoskertoimen

arvot ovat kaikissa eurokoodistandardien mukaista mitoitusta noudattavissa maissa samat, mutta käyttöluokkien ja kuormien aikaluokkien määrittämisessä sallitaan kansallinen poikkeaminen. Oikean käyttöluokan ja aikaluokan määrittäminen on kuitenkin käyttäjän vastuulla, joten ohjelmaan ei merkittäviä muutoksia tarvitse tehdä. Käyttöluokkien kansallinen määritelmä on huomioitava, kun käytetään sileille nauloille ulosvetolujuuden ja läpivetolujuuden 2/3 vähennystä, jos puuosat pääsevät kutistumaan huomattavasti (8 s. 61). Suomessa käyttöluokka 3 on määritelty tilanteeksi, jossa puu on altis säänvaihtelulle. Tällöin puu kostuu ja kuivuu vuorotellen, joten ulosvetokestävyydessä on syytä huomioida mahdolliset vähennykset. Suomessa on päätetty käyttää vähennyskertoimia aina, kun rakenteen käyttöluokaksi määritellään 3. Muita kansallisia versioita varten on määritettävä, mitkä käyttöluokat täyttävät vastaavat tunnusmerkit.

### **3. Poikittaiskuormien siirto päätypuuhun lyödyillä nauloilla**

Kansallinen valinta päätypuuhun lyötyjen naulojen poikittaiskuormitukseen on selvitettävä. Päätypuuhun lyötyjen naulojen poikittaiskestävyys voidaan kansallisella valinnalla joko jättää kokonaan huomioimatta tai käyttää poikittaiskestävyyden mitoitusarvona kolmannesta vastaavan naulan kestävyydestä syysuuntaan vastaan kohtisuoraan lyötynä sekundäärirakenteissa ja muissa kuin sekundäärirakenteissa Eurokoodi 5-standardin kohdan 8.3.1.2(4) mukaisten ehtojen täytyessä. Naulojen tulee tällöin kuormittua esimerkiksi vain poikittaissuunnassa ja niiden tunkeuman on oltava vähintään 10d eikä rakenne saa joutua käyttöluokan 3 olosuhteisiin.

### **4. Esiporaus erityisen herkästi halkeilevilla puuosilla**

Kansallinen valinta erityisen herkästi halkeilevien puuosien esiporausehtoien kohdalla on selvitettävä. Esiporaamattomissa liitoksissa puuosien on oltava paksumpia erityisen herkästi halkeilevilla puuosilla kuin sellaisilla puuosilla, joiden ei oleteta halkeilevan erityisen voimakkaasti. Kansallisia versioita varten on selvitettävä, onko ohjelman puuosien valikoimassa sellaisia materiaaleja, joiden kohdalla Eurokoodi 5-standardin kohtaa 8.3.1.2(7) on noudatettava. Jokaiselle ohjelmaan lisättävälle puumateriaalille tulisi tarkistaa myös materiaalin omista hyväksynnöistä, sovelletaanko kyseistä eurokoodin kohtaa tälle puumateriaalille. Esimerkiksi Kertotuotteiden lapeliitoksissa kyseinen kohta voidaan jättää huomioimatta. Kerto-S-tuotteiden lapeliitoksissa voidaan myös muut puuosan paksuuteen liittyvät ehdot esiporauksen tarvetta määritettäessä jättää huomiotta. Kohtaa 8.3.1.2(7) on noudatettava syrjäliitoksissa. (5 s. 19)

Kansallisessa liitteessä voidaan myös vapauttaa tietyt liitostyypit tästä rajoituksesta. Suomessa tätä kohtaa ei sovelleta naulaliitoksille, eikä Kertopuulle vaikka Kertopuuta valmistetaan herkästi halkeilevaksi luokiteltavasta kuusesta (8 s. 59) (5 s. 1) (19 s. 15).

### **5. Ristiriidattomat lisädokumentit**

Kansallisesti voidaan soveltaa myös niin sanottuja ristiriidattomia lisäohjeita (NCCI = Non-contradictory complementary information). Kansalliset ristiriidattomat lisäohjeet tulisi huomioida kansallisen version kehityksessä, jotta mitoitus tulokset olisivat vertailukelpoisia ja ohjelma kilpailukykyinen.

## **6. Materiaalien sertifiointit**

Erilaisten puumateriaalien ja liitinten omissa sertifiointeissa annetut lisämitoitushjeet tulee huomioida kansallisten versioiden kehityksessä. Esimerkiksi Kerto-tuotteille on esitetty poikkeavia mitoitushjeita VTT:n sertifikaatissa NRO VTT-C-184-03. Myös muiden pitkälle jalostettujen puumateriaalien mahdolliset omat mitoitushjeet tulee ottaa huomioon mitoitushjelman kansallisen version kehittämisessä, jos tällaisia sisällytetään ohjelman materiaalivalikoimaan. Jos ohjelmaan sisällytetään muita kuin standardin mukaisia liittimiä, on myös näiden liittimien mahdolliset poikkeamat standardin mukaisista liittimistä selvitettävä liittimien valmistajalta ja sisällytettävä kansallisen version mitoitukseen.

## 7 Johtopäätökset

### 7.1 Liitostyyppien kartoitus

Liitosmitoitushjelman kehityksen pohjana käytettiin liitostyypeistä tehtyä kyselykartoitusta, jonka tavoitteena oli selvittää Kerto-tuotteilla tehtäviä liitostyyppisiä ja niiden käytön yleisyyttä. Liitostyyppisiä esiintyi kartoituksessa useita kymmeniä ja niistä tunnistettiin kaksi pääryhmää; sauvarakenteiden liitokset ja Kerto-Ripa-elementtien liitokset. Muita kartoituksessa esiintyneitä yksittäisiä liitostyyppisiä olivat esimerkiksi levyjen liitokset, sekä ripustusliitokset.

Yleisimmiksi liitostyypeiksi kartoituksessa nousivat pilarien ja palkkien liitoksissa erilaisilla pilari- ja palkkikengillä tehtävät liitokset, joiden mitoitus perustuu valmistajakohtaisiin ohjeisiin. Metallisilla puikkoliittimillä toteutettavien liitostyyppien yleisimmiksi liitoksiksi nousivat sauvarakenteille yksi- tai kaksileikkeinen puuosien välinen leikkausliitos, liitoslevyllinen kontaktiliitos ja liitoslevyllinen leikkausliitos, joita voidaan käyttää erilaisissa pilarien ja palkkien välisissä liitoksissa sekä kehien ja ristikoiden liitoksissa. Kerto-Ripa-elementtien kohdalla ei havaittu eroa eri liitostyyppien yleisyydessä, sillä kaikkia liitostyyppisiä käytetään yleensä samassa kohteessa, kun elementtiä liitetään muuhun rakenteeseen. Myös jäykistys- ja suojalevyjen kiinnitykset ja esimerkiksi LVIS-laitteille tai valaistukselle tehtävät ripustukset todettiin yleisiksi liitostyypeiksi.

Kartoituksen perusteella valittiin liitosmitoitushjelman ensimmäiseen julkaisuversioon toteutettavat liitostyyppit. Liitostyyppit valittiin liitosten käytön yleisyyden perusteella niin, että ohjelman ensimmäisen julkaisuversion liitostyyppivalikoimasta saataisiin mahdollisimman hyvin käyttäjien tarpeisiin vastaava.

### 7.2 Liitosmitoitus

Eurokoodistandardeissa, näitä tukevissa standardeissa ja muissa ohjeissa annettujen mitoitusohjeiden perusteella määritettiin ne tiedot, jotka tulee kerätä, jotta liitosmitoitus voidaan tehdä. Liitintyyppien määrittelyn todettiin vaativan runsaasti sekä liittimen dimensioihin että lujuusominaisuuksiin liittyviä parametreja. Parametreille tehtiin myös jaottelua sen mukaan, voidaanko se määrittää muiden tietojen perusteella vai onko parametrin arvo syötettävä käsin esimerkiksi liittimen valmistajalta saatujen tietojen perusteella.

Leikkaus- ja vetorasitettujen liitosten mitoituksen todettiin olevan varsin suoraviivaista, sillä kuormitus jakautuu tasaisesti liittimille. Erityistarkastelua vaativiksi kohdiksi tunnistettiin liitinryhmän halkeamis- ja lohkeamismurtokestävyydet, jolloin liittinsijoitteluun liittyvät liitin- ja reunaetäisyydet sekä liitokseen kohdistuvan kuorman ja puuosien syysuunnan välinen kulma on määriteltävä. Mitoitusprosessin pituuden ja monivaiheisuuden arvioitiin kuitenkin altistavan liitosmitoituksen herkästi tulkinta- ja huolimattomuusvirheille.

Momenttiliitosten mitoituksen todettiin olevan monimutkaisempaa, sillä liitoksen geometrialla on huomattava vaikutus liitoksen kestävyteen liitosryhmän jäyhyysmomentin kautta. Geometrian vaikutuksen määrittelyn havaittiin olevan haastavaa käsin koottaviin mitoituspohjiin liitinmäärien vaihtuessa. Momenttiliitoksissa liitoksen kuormitus jakautuu epätasaisesti liittimille, joten liittimille tulevia kuormituksia ja niiden kapasiteetteja joudutaan tarkastelemaan kullekin liittimelle



erikseen. Tämä johti tarvittavien tulosten määrän vaihteluun liitoksen koon mukaan. Käyttäjystävällisen, kattavan ja luotettavan liitosmitoitushjelman uskottiin mahdollistavan liitosten tarkemman ja nopeamman mitoituksen erityisesti momenttiliitoksilla.

### **7.3 Liitosten optimointi**

Tietokoneiden suurta laskentanopeutta päätettiin hyödyntää liitosten optimointiin tähtäävillä ominaisuuksilla. Optimointiperusteiksi tunnistettiin liitoksen kustannukset, liitoksen tehokkuus, liitoksen murtotapa ja liitoksen estetiikka. Yhtä yhteistä optimointialgoritmia, jolla optimointia voitaisiin suorittaa yhden tai useamman tekijän suhteen ei tunnistettu. Eri optimointimenetelmien todettiin johtavan erilaisiin tuloksiin, sillä esimerkiksi sitkeyttä tavoiteltaessa liitoksessa tulisi suosia suurempaa määrää ohuita liittimiä ja asennuskustannuksen minimoinniksi käyttää mahdollisimman vähän paksuja liittimiä.

Yksinkertaisimmaksi optimointimenetelmäksi määritettiin liitoksen liitinasetteluun optimointi niin, että mahdollisimman alhaisella liitinmäärällä saavutettaisiin liitokselle mahdollisimman suuri kapasiteetti. Liitoksen tehollisten liittimien, halkeamis- ja lohkeamismurtokestävyyden sekä momenttikapasiteetin tarkastelu osoitti, että liittimien sijoittaminen mahdollisimman laajalle alueelle johtaa liitoksen suurimpaan kapasiteettiin. Liittimen tai liitososien optimoinnin arvioitiin oleva huomattavasti monimutkaisempaa, sillä liittimen, liitinkoon tai liitososien vaihtaminen vaikuttaa merkittävästi liitinsijoitteluun.

### **7.4 Puuliitosten mitoitusohjelmien kartoitus**

Puuliitosten mitoitusohjelmien kartoituksen pohjalta määriteltiin kehitystavoitteita liitosmitoitushjelman sisällön, rakenteen ja käyttöliittymän suunnitteluun. Kartoituksessa havaittiin saatavilla olevien ohjelmien liitosvalikoiman olevan suppea, liitosten muokkausmahdollisuuksien olevan rajallisia sekä tulosten ja tulosteiden olevan usein puutteellisia. Ohjelmien hyvinä puolina pidettiin liitoksen mitoitusprosessin jakamista pienempiin osioihin ja liitosten havainnollisia esitystapoja joissakin ohjelmissa.

Kartoituksen perusteella uuden liitosmitoitushjelman kehityksessä päätettiin keskittyä mitoitusprosessin loogiseen jakoon ja etenemiseen, havainnollisen liitoksen esitystavan luontiin, tulosten ja tulosteiden selkeyteen sekä ohjelman monikäyttöisyyteen ja käyttäjille sallittavaan vapauteen. Jälkimmäistä pyrittiin toteuttamaan muun muassa sallimalla liittimien vapaa valinta ja määrittely sekä määrittelemällä liitostyyppit niin, että niiden rakennetta pystyttäisiin hallitsemaan mahdollisimman monipuolisesti esimerkiksi liitinsijoittelun ja kuormituksen osalta.

### **7.5 Ohjelman rakenteen määrittely**

Ohjelman rakenteen määrittelyssä tunnistettiin kaksi vaihtoehtoista toimintatapaa; liitosten ryhmittely valikkorakennetta varten joko liitoksen käyttötarkoituksen tai käytettävän mitoitusmenetelmän perusteella. Käyttötarkoituksen mukaista luokittelua oli havaittavissa kaikissa liitostyyppikartoitukseen saaduissa vastauksissa, joten tätä menetelmää käytettiin myös ohjelman valikon luomisessa, koska sen oletettiin olevan käyttäjystävällisempi. Esimerkiksi useita erilaisia pilarien ja palkkien sekä kehien liitoksia voidaan mitoittaa puuosien välisen leikkausliitoksen mitoitusperiaatteiden

mukaisesti, mutta liitosten käyttökohteet ovat niin erilaisia, että omien työkalujen luomista näille liitostyypeille mitoitusohjelmaan pidettiin perusteltuna.

Yhdeksi ohjelman rakenteen kannalta olennaiseksi käytettävyyden piirteeksi määriteltiin se, että käyttäjä löytäisi haluamansa liitostyyppin mahdollisimman nopeasti ohjelman valikosta. Tämä pyrittiin toteuttamaan rajoittamalla valikkotasossa esitettyjen vaihtoehtojen määrää. Liitosten ensimmäinen ryhmittely perustui liitostyyppikartoituksessa tunnistettuihin ryhmiin; sauvarakenteiden liitokset, Kerto-Ripa-elementtien liitokset ja muut liitokset. Sauvarakenteiden liitoksia tunnistettiin kuitenkin 18 kappaletta, joten liitosvalikkoa pyrittiin tasapainottamaan jakamalla liitostyyppejä useampiin liitosryhmiin. Liitosryhmiä määritettiin lopulta kahdeksan: pilari-palkki-liitokset, palkki-palkki-liitokset, perustusliitokset, kehä- ja ristikkosauvojen liitokset, Kerto-Ripa-elementtien liitokset, ripustusliitokset, muut liitokset ja yleisliitokset. Kuhunkin liitosryhmään sijoitettiin korkeintaan viisi eri liitostyyppiä.

Ohjelman kehityksen alkuvaiheessa kävi ilmi, että ohjelman rakenteen muuttaminen missä tahansa ohjelman kehitysvaiheessa olisi helposti toteutettavissa, eivätkä ohjelman ensimmäiset kehitysversiot vielä sisältäneet lopullista liitosryhmittelyä. Liitosryhmittelyn lopullista määrittelyä ensimmäiseen julkaisuversioon pidettiin kuitenkin tärkeänä, jotta liitinryhmittelyä ei jouduttaisi vaihtamaan eri julkaisuversioiden välillä. Näin liitostyypit löytyisivät jokaisesta ohjelman versiosta samalta paikalta, eivätkä edellisiä versioita käyttäneet joutuisi opettelemaan käyttämiensä liitostyyppien sijainteja uudestaan otettuaan käyttöön päivitetyn version ohjelmasta.

## 7.6 Käyttöliittymän määrittely

Liitosmitoitusohjeiden ja liitosmitoitusohjelmien kartoituksen perusteella keskeisiksi asioiksi käyttöliittymäsuunnittelussa tunnistettiin:

- Lähtöparametrien suuri määrä
- Tulosten ja tulosteiden selkeys ja laatu
- Käytettävyys

Liitosmitoitusohjeiden perusteella liitosmitoitukselle ominaiseksi havaittiin suuri määrä tarvittavia lähtöparametreja, joilla määritetään liitoksen rakenne ja sen kuormitus. Liitosmitoitusohjelmien kartoitus osoitti, että aikaisemmissa ohjelmissa parametreja oli jaettu ruututilan säästämiseksi ja mitoitusprosessin hallittavuuden parantamiseksi pienempiin osioihin. Tällaista menetelmää päädyttiin käyttämään myös uudessa liitosmitoitusohjelmassa, ja mitoitusparametrit jaettiin erillisille välilehdille. Parametrien jaossa huomioitiin mitoitusprosessin looginen eteneminen välilehdeltä toiselle. Liitoksesta riippuen lähtöparametreille todettiin hyväksi jaotteluksi seuraavat luokat:

- Projektin tiedot (projektin kohteen ja suunnittelijan tiedot)
- Liitososien tiedot (materiaalit, dimensiot)
- Liitoksen kuormitus (MRT- ja KRT-kuormat, suunta, aikaluokka)
- Valittu liitin (tyyppi, dimensiot, lujuusominaisuudet)
- Liitinsijoittelu (liitinten määrä, liitinalueen rajat)

Yksittäisen liittimen kapasiteettia määrittävästä työkaluun jätettiin kuitenkin liitoksen kuormitusvälilehti toteuttamatta, sillä erillisiä kuormia ei tälle liitostyypille määritellä.

Tämä johti siihen, että paksujen liittimien reunapuristuslujuuksien ja liitinetäisyyksien määrittämiseen tarvittava kuorman suuntakulma sekä mitoitusarvojen määrittämiseen tarvittava aikaluokka sijoitettiin liitososien tiedot määrittävälle välilehdelle. Tässä tapauksessa liitososien tiedot määrittävältä välilehdeltä jäi muihin liittostyypeihin verrattuna parametreja pois, sillä esimerkiksi liitososien katkaisuja ei liittostyyppissä huomioida. Vaikka näin päädyttiinkin ratkaisuun, jossa jotkin parametrit ovat liittostyyppistä liittyen eri välilehdillä, vältettiin näin myös tilanne, jossa jollakin välilehdellä on vain yksi tai kaksi parametria. Yksittäisen liittimen kapasiteettia määrittävän työkalun arvioitiin myös olevan tarpeeksi itsenäinen kokonaisuus ohjelmassa, ettei käytettävyyden voida olettaa tällä ratkaisulla merkittävästi alenevan.

Tulosten esityksen ja tulosteiden laadun todettiin olevan useissa saatavilla olevissa puurakenteiden liittosten mitoitusohjelmissa heikko. Selkeiden, kattavien ja käyttökelpoisten tulosteiden laadun todettiin siis olevan käyttöliittymän suunnittelussa yksi tärkeimmistä tekijöistä, joilla olemassa olevista kilpailevista ohjelmista voitaisiin erottautua. Tuloksissa haluttiin esittää selkeästi erilaiset liittoksen mitoituskriteerit. Mitoituksen käyttöasteen lisäksi tuloksista tulisi käydä ilmi, toteuttaako liitos tarvittavat geometriset ehdot ja mitkä erilaiset murtomekanismit (muun muassa halkeaminen ja lohkeaminen) on mitoituksessa huomioitu. Ohjelmaan päätettiin sijoittaa myös kattavat välitulokset, joiden avulla voidaan parantaa ohjelman luotettavuutta, sillä käyttäjä voi itse arvioida kohta kohdalta mitoituksen etenemistä. Tulosten havainnollisuudessa huomioitiin myös liittoksen esityksen merkitys ohjelman tulosten selkeyteen. Ohjelmaan päätettiin toteuttaa useita erilaisia näkymiä liittoksesta, jotta liitinsijoittelu ja liittoksen rakenne kävisivät selkeästi ilmi. Yksittäisen liittimen kapasiteetin työkalulle arvioitiin riittävän yksi leikkauskuva liittimestä liitososissa. Muihin liittostyypeihin päätettiin sisällyttää myös vähintään sivukuva liittoksen liitinasettelusta. Kuviin merkittiin kaikki niissä esiintyvät liittimen ja osien dimensiot, jotta ne olisivat mahdollisimman havainnollisia. Näkymät suunniteltiin myös päivittymään annettujen lähtötietojen mukaan, jotta liittoksen toimivuutta voitaisiin arvioida myös sen dimensioiden perusteella.

Käyttöliittymän suunnittelussa tehdyt painotukset johtivat kolmeikkunaiseen käyttöliittymään. Lopullisessa käyttöliittymässä yhteen ikkunaan sijoitettiin liittoksen parametrien syöttöön liittyvät kentät. Toisesta ikkunasta pystyttiin seuraamaan joko tarkempien mitoistulosten tai liitoskuvien päivittymistä tehtyjen valintojen mukaisesti. Näin käyttäjä saa välitöntä palautetta liittoksen määrittelyn seurauksista haluamallaan tavalla. Kolmanteen ikkunaan varattiin tilaa tärkeimpien mitoistulosten yhteenvedolle, jotta koko ajan olisi selvää täyttääkö liitos mitoituskriteerit ja mitkä näistä osoittautuvat mitoittaviksi.

## 7.7 Testaus

Testauksessa yleisesti käytettyä kaikkien mahdollisten ehtolausekkeiden läpikäymisen periaatetta pystyttiin soveltamaan osittain myös liitosmitoitusohjelman testauksessa. Erityisesti yksittäisten liittimien kapasiteetin kohdalla esiporaussääntöjen, liittimien tyyppien ja muodon sekä tunkeumien vaikutusten testauksessa pystyttiin helposti tunnistamaan ne rajatapaukset, joissa liittoksen mitoitus muuttui. Isommissa liittostyypeissä tällaisen lähestymistavan todettiin olevan haastavampaa.

Isompien liittostyyppien kohdalla pyrittiin testaussuunnitelmaa tehtäessä tunnistamaan sellaiset yksittäiset ominaisuudet ja niiden rajakohdat, jotka testauksen tulisi kattaa. Erityisesti kuormituksen kulman vaikutuksissa ja liittokseen kohdistuvan momentin

jakautumisessa liittimille todettiin testauksessa olevan ongelmakohtia. Kuormituksen kulman vaikutusta liitin- ja reunaetäisyyksiin testattiin laajasti, sillä erilaisia kuormitusresultantin suuntia, joissa liitin- ja reunaetäisyyksien mitoitusohjeet liitosalueen reunoilla muuttuvat tunnistettiin 16. Kuormituksen suunnan vaikutusten tarkastelun todettiin olevan tärkeää myös momenttiliitoksissa sekä puuosien halkeamis- ja lohkeamismurtokestävyyksiä määritettäessä.

Testaus osoitti myös, että liitosmitoitus on hyvin altista tulkinta- ja huolimattomuusvirheille. Mitoitusohjeiden tulkintaan liittyviä haasteita havaittiin liittimien tunkeumien ja tehollisten halkaisijoiden määrittelyssä ja käytössä. Liitosmitoituksessa käytettävien tunkeuma-arvojen määritelmiä ja rajoituksia korjattiin testauksen perusteella. Lisäksi erityisesti ruuveilla halkaisijan tehollisen arvon käyttöön kiinnitettiin huomiota, jotta mitoituksen eri kohdissa käytettäisiin oikeita halkaisijan arvoja. Huolimattomuusvirheille alttiita todettiin olevan kohtien, joissa määritetään paljon välituloksia. Tällaiseksi osoittautui esimerkiksi Kerto-tuotteille käytettävän lohkeamismurtokestävyyden mitoitusmenetelmä, jossa lasketaan paljon erilaisia liitoksen aloihin ja kestävyyskin liittyviä arvoja.

Testauksen todettiin olevan yksi vaativimmista ohjelmistokehitysprosessin vaiheista, joten ohjelman testaukseen tulisi varata riittävästi resursseja. Testauksen luotettavuuden parantamiseksi arvioitiin testaukseen vaadittavan useita testauskierroksia eri henkilöiden toteuttamina, jotta kaikki mahdolliset tulkinta- ja huolimattomuusvirheet mitoituksesta tunnistettaisiin.

## 7.8 Jatkotutkimustarpeet

Liitoksen optimointi jäi tässä diplomityössä vielä osittain avoimeksi. Tässä työssä keskityttiin tarkemmin vain liittinsijoittelulla suoritettavaan optimointiin. Näin saatiin valitulla liittimellä muodostettua liittinsijoittelultaan tehokkain liitos, mutta jokin muu ratkaisu liittyvien osien tai liittimien valinnan suhteen saattoi jäädä huomioimatta.

Liitosten mitoituksen arvioitiin koostuvan kolmesta erillisestä osiosta: liittyvät osat, liittimet ja liittimien sijoittelu. Tässä työssä esitetystä optimoinnista ei ole otettu kantaa kahteen ensimmäiseen, sillä näiden osioiden välisten suhteiden selvittämisen ja kaikki ominaisuudet huomioon ottavan optimointialgoritmin kehittämisen arvioitiin olevan hyvin työlästä. Optimoinnin perusteiksi tunnistettiin myös muita ominaisuuksia kuin liitoksen kestävyys. Näitä olivat muun muassa liitoksen asennuksen kustannukset tai liitoksen oletettavan murtotavan sitkeys. Osan näistä ominaisuuksista todettiin ohjaavan liitoksen rakennetta vastakkaisiin suuntiin, joten ristiriidattomien optimointi menetelmien ja kattavan optimoinnin sisällyttämisessä liitosmitoitusohjelman käyttöliittymään todettiin olevan vielä kehitettävää.

Liitosmitoitusohjelmassa määritettävässä kuormituksessa on oletettu käytettävän mitoituskuormia käyttöliittymän selkeyttämiseksi, mutta kaikissa tapauksissa tämän ei todettu olevan riittävä tarkkuus. Esimerkiksi kuormituksen luonnetta ei ole ohjelmassa määritelty, joten lopullisen liitossiirtymän laskennassa tarvittavia kuormien yhdistelykertoimia ei pysytty ohjelmassa käyttämään. Kuormituksen tarkemman määrittelyn vaikutuksia käyttöliittymään ja esimerkiksi erillisen tarkemman kuormitusten määrittelyn työkalun luomisen vaikutuksia ei työssä arvioitu, mutta kuormituksen määrittelyn tarkennuksella voitaisiin mitoitus tuloksista saada vielä yksityiskohtaisempia.

## 8 Yhteenveto

Diplomityön tavoitteena oli määrittää rakenne ja käyttöliittymä liitosmitoitushjelmalle, joka kattaa Kerto-rakenteiden yleisimmät liitostyypit. Liitosten mitoituksen perusteeksi määritettiin Euroopassa yleisessä käytössä olevan Eurokoodi 5 -standardin (EN 1995-1-1) liitosmitoitushjeet. Diplomityössä tutkittiin liitosmitoitushjeita, niiden tulkintaa ja sovellutusta liitosmitoitushjelmaan.

Liitosmitoitushjelman sisältö määritettiin Kerto-rakenteiden liitostyyppikartoituksen pohjalta. Liitostyyppikartoitukseen osallistui Metsä Woodin henkilöstä Suomesta, Iso-Britanniasta, Ranskasta ja Alankomaista sekä ulkopuolisia konsultteja, jotka olivat aikaisemmin osallistuneet Metsä Woodin tuotteilla toteutettuihin rakennusprojekteihin ja joille Kerto-tuotteiden liitokset olivat ennestään tuttuja.

Yhteensä erilaisia liitostyyppejä tunnistettiin kartoituksessa 27. Kartoituksessa tunnistetut liitostyypit olivat muun muassa sauvarakenteiden liitoksia (pilarien, palkkien, kehien ja ristikkojen liitoksia), Kerto-Ripa-elementtien liitoksia sekä levyjen kiinnityksiä. Valinnat liitosmitoitushjelman ensimmäiseen julkaisuversioon sisällytettävistä liitostyypeistä tehtiin niiden kartoitetun käytön yleisyyden perusteella. Osa yleisimmistä liitostyypeistä karsiutui ensimmäisestä julkaisuversiosta työhön tehtyjen rajausten perusteella, sillä esimerkiksi palkki- tai pilarikengällisten liitosten mitoitus ei perustu suoraan mitoitusstandardeihin vaan liitososan valmistajan antamiin ohjeisiin.

Puikkoliitosten mitoitusohjeiden perusteella todettiin puuliitoksen kestävyys perustuvan puisten liitososien sekä käytettävien liittimien kestävyys. Puuosien ja liittimien kestävyys määrittäminen vaatii runsaasti sekä dimensioihin että lujuusominaisuuksiin liittyviä lähtötietoja. Mitoitusohjeista kerättiin mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä kuten liitintyyppien erityisominaisuuksia, liitosten rakenteen rajoituksia, liitoksen rakenteen merkitys kestävyys sekä liitoksen erilaisia murtomekanismeja mitoitusohjelman rakenteen ja käyttöliittymän erilaisten toimintojen suunnittelun pohjaksi.

Leikkaustapausten lisäksi liitosmitoitushjelman suunnittelussa huomioitiin myös liitosten aksiaalinen kuormitus, liitosalueen halkeamis- ja lohkeamismurtokestävyys syysuuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa ja syysuunnassa sekä liitoksen toiminta momenttirasituksessa. Erityisesti monivaiheisen lohkeamismurtokestävyys sekä liitoksen geometriasta riippuvan momenttikapasiteetin mitoituksen arvioitiin helpottuvan hyvän ja luotettavan mitoitusohjelman myötä.

Tietokoneiden suurta laskentanopeutta pyrittiin hyödyntämään tutkimalla liitoksen kestävyys optimointia. Työssä tutkittiin erityisesti liitinsijoittelun vaikutusta liitoksen kestävyys. Liitinsijoittelulla tunnistettiin olevan vaikutusta liitinten teholliseen määrään, liitoksen halkeamis- ja lohkeamismurtokestävyys sekä liitoksen jäyhyysmomenttiin. Kaikilla tekijöillä liitinsijoittelun edullisimmaksi ratkaisuksi todettiin liitinryhmä, jossa hyödynnetään koko käytettävissä oleva liitosalue ja liittimet sijoitetaan mahdollisimman etäälle toisistaan. Optimoinnin suorittamiseksi ei löydetty muita keinoja kuin erilaisten vaihtoehtojen vertailu. Kestävyys optimoinnin lisäksi liitinkoon tai liitosalueen optimoinnin tavoitteiksi tunnistettiin muun muassa asennuskustannusten minimointi (pieni määrä paksuja liittimiä), sitkeän murtotavan tavoittelu (paljon ohuita liittimiä) tai liitinryhmän esteettisyys (liitinsijoittelun symmetrisyys, muoto, koko). Muiden kuin liitinsijoitteluun liittyvien ominaisuuksien optimoinnin arvioitiin olevan huomattavasti monimutkaisempaa, sillä liitososien koon

muuttaminen vaikuttaa oleellisesti kaikkiin liitinmitoituksen vaiheisiin liittimien kapasiteetin määrittämisestä liitinsijoittelun reunaehtoihin.

Käyttöliittymän suunnittelun pohjaksi analysoitiin jo saatavilla olevia puurakenteiden liitosmitoitushjelmia. Yhdenkään ohjelman ei todettu olevan niin monipuolinen kuin uuden liitosmitoitushjelman kehityksessä oli tavoitteena. Liitosvalikoima oli useissa ohjelmissa suppea ja liitinvalikoima oli osassa ohjelmista rajoitettu vain ohjelmiston tarjoavan liitinvalmistajan valikoimaan. Uuden mitoitushjelman rakenteen ja käyttöliittymän kehitystavoitteiksi määriteltiin analyysin perusteella mahdollisimman monipuolinen liitosten määrittely, kattava liitinvalikoima ja mahdollisimman kattavat ja selkeät tulokset sekä tulosteet. Myös liitoksen esitystavan selkeyteen ja mitoitusprosessin loogiseen jaotteluun päätettiin panostaa. Mitoitusprosessia oli useissa ohjelmissa jaettu pienempiin osiin esimerkiksi välilehdille. Tätä toteutustapaa päätettiin hyödyntää myös uudessa liitosmitoitushjelmassa.

Liitosmitoitushjelman kehityksessä sovellettiin osittain ketterien ohjelmistokehitysprosessimallien pääperiaatteita. Tämän perusteella ohjelman rakenteen, käyttöliittymän ja toiminnallisuuden kehitys jaettiin pienempiin osioihin, jotka määriteltiin, ohjelmoitiin ja testattiin erikseen. Liitosmitoitushjelman kehitys jaettiin käyttöliittymän kehityksen ja eri liitostyyppien kehityksen välille. Näin ohjelman ensimmäiset testauskierrokset saatiin ajoitettua mahdollisimman aikaiseen vaiheeseen ja testauspalautetta voitiin hyödyntää jatkokehityksessä.

Ohjelman rakenteen suunnittelun pohjana olivat käytettävyyys ja liitostyyppikartoituksesta saadut tulokset erilaisten liitostyyppien käytöstä. Ohjelman rakenne toteutettiin kaksitasoisena liitostyyppivalikkona. Eri liitosryhmiä luotiin kahdeksan ja näistä jokaiseen sijoitettiin korkeintaan viisi eri liitostyyppiä. Tavoitteena oli valikko, jossa vaihtoehtojen määrä on rajattu niin, että oikean liitostyyppin löytäminen on helppoa. Liitosryhmien määrittelyyn tunnistettiin kaksi vaihtoehtoa: ryhmittely liitoksen käyttötavan perusteella ja ryhmittely liitoksen mitoituseriaaiteiden perusteella. Käyttötavan mukaista ryhmittelyä havaittiin jo liitostyyppikartoituksen vastauksissa. Tämä ryhmittelytapa valittiin ohjelmaan sen paremman käytettävyyden vuoksi. Liitosryhmiksi valikoituivat lopulta: palkki-pilari-liitokset, palkkien väliset liitokset, perustusliitokset, kehä- ja ristikkosauvojen liitokset, Kerto-Ripa-elementtien liitokset, ripustusliitokset, muut liitokset ja yleisliitokset. Muiden liitosten ryhmään sijoitettiin ne liitostyyppit, joille ei vielä löydetty yhdistävää tekijää, kuten levyjen liitokset ja vahvistusliitokset. Yleisliitosten ryhmään sijoitettiin yleiset yhden liittimen kapasiteettia ja puuosien välistä leikkausliitosta mitoittavat työkalut.

Käyttöliittymän suunnittelun pohjana käytettiin liitosmitoitushjeita ja liitosmitoitushjelmien kartoituksen perusteella määriteltyjä kehitystavoitteita. Ohjelman mitoituserio jaettiin kolmeen ikkunaan, joiden sisältö pyrittiin jakamaan mitoitusta selkeyttävästi. Ensimmäiseen ikkunaan sijoitettiin liitoksen mitoituksessa tarvittavien lähtötietojen määrittelyyn tarvittavat kentät mitoitettavan liitoksen osille, kuormitukselle ja käytettävälle liittimille. Lähtötietojen kentät jaettiin eri välilehdille mitoitusprosessin selkeyttämiseksi ja ruututilan säästämiseksi siten, että mitoituserio pyrittiin jakamaan loogisesti pienempiin helposti hallittaviin osiin. Toiseen ikkunaan varattiin tilaa liitoksesta esitettävälle kuville liitoksen leikkauksesta ja liitinsijoittelusta, tarkoille mitoitustuloksille sekä ohjeille. Kolmannessa ikkunassa esitetään yhteenvetona tärkeimmät mitoitustulokset. Ikkunat suunniteltiin toimimaan yhdessä niin, että ensimmäisessä ikkunassa lähtötietojen muuttaminen vaikuttaa välittömästi muissa ikkunoissa esitettyihin tuloksiin ja kuvien dimensioihin, jotta

käyttäjä näkee reaaliajassa tekemiensä valintojen vaikutuksen haluamallaan tavalla. Reaaliajassa päivittyvien liitoskuvien suunniteltiin helpottavan esimerkiksi liitoksen dimensioiden järkevyyden arvioimista. Kolmas ikkuna suunniteltiin näkymään koko mitoitusprosessin ajan, jolloin käyttäjä saa välitöntä tietoa liitoksen toiminnasta sen mitoituksen käyttöasteiden ja mitoittavien tekijöiden muodossa.

Ohjelman testauksessa liitosmitoituksessa todettiin useita huolellisuutta vaativia kohtia, joten liitosmitoitushjeiden tulkintaan ja mitoituksen testaukseen tulee varata aikaa ja resursseja. Mitoituksessa tulkinnallisia haasteita havaittiin muun muassa liittimien tunkemien määrittämisessä ja käytössä sekä ruuvien kierteisen osan halkaisijoiden määrittelyssä, näiden vaikutuksessa ruuvien teholliseen halkaisijan ja eri halkaisija-arvojen käytössä mitoituksessa. Huolellista toteutusta ja testaamista vaativiksi mitoituksen kohdiksi osoittautuivat kuormituksen kulman vaikutus liitosryhmän liitin- ja reunaetäisyyksiin, reunapuristuslujuuksiin ja momenttiliitosten kuormien jakautumiseen eri liittimille sekä useita samankaltaisia kohtia sisältävät mitoitusmenetelmät, kuten lohkeamismurtokestävyysmitoitus, jonka ohjelmoinnissa havaittiin huolimattomuusvirheistä johtuvia ongelmia. Testauksen perusteella tehtiin myös ohjelman käyttöliittymän parannuksia esimerkiksi liitoskuvien selkeyteen, projektipuun toimintaan, lähtöarvojen syöttökenttien maksimiarvoihin ja desimaalin käyttöön.

## Kirjallisuusviitteet

1. Carling, O. Liimapuukäsikirja, 2003.
2. Kerto-Ripa-detaljii, Metsä Wood [Online] [Viitattu: 25.7.2014.]  
<http://www.metsawood.com/fi/tyokalut/detaljikirjasto/Pages/Kerto-Ripa-detaljii.aspx>.
3. Renforcement de structures avec Kerto, Metsä Wood.
4. Trautz, M. & Koj, C. Self-tapping screws as reinforcement for timber structures, 2009.
5. VTT Sertifikaatti Nro VTT-C-184-03: Kerto-S ja Kerto-Q, Rakenteellinen LVL, 2012.
6. Johansen, K.W. Theory of timber connections, International Association of Bridge and Structural Engineering, Bern 1949.
7. Hanhijärvi, A. & Kevarinmäki, A. Timber failure mechanisms in high capacity dowelled connections of timber to steel, VTT 2008.
8. SFS-EN 1995-1-1 + A1 + AC Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt, 2008.
9. RIL 205-1-2009. Puurakenteiden suunnitteluohje. Eurokoodi EN 1995-1-1, Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2009.
10. SFS-EN 1995-1-1:2004/A2 Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: Common rules and rules for buildings, 2014.
11. EN 14592:2008 + A1:2012: Timber structures. Dowel-type fasteners. Requirements, 2012.
12. SFS-EN 1993-1-8 Eurocode 3. Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten mitoitus, 2005.
13. Koponen, S. Puikkoliitosten toiminta puurakenteissa, Rakenteiden mekaniikka, Vol. 25 No. 1, 1992.
14. Leivo, M., Nupponen, A & Pitkänen, Jani. Eurocode 5 Esimerkkilaskelmat. Wood Focus, Kotka 1997.
15. Verification of embedment strength for Kerto-S-LVL, VTT 2004.
16. Evaluation of embedment strength for Kerto-Q-LVL, VTT 2004.
17. Jorissen, A. & Fragiaco, M. General notes on ductility in timber structures, Engineering Structures 33, 2011.
18. Zarnani, P. & Quenneville, P. Strength of timber connections under potential failure modes: An improved design procedure. Construction And Building Materials Vol. 60, 2014.
19. NA SFS-EN 1995-1-1+A1-YM Kansallinen liite standardiin EN 1995-1-1 Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. 2007.



20. Vesa, J., Kevarinmäki, A. & Kurkela, J. Liitosten kiertymäjäykkyyden hyödyntäminen puurakenteiden mitoituksessa. Teknillinen korkeakoulu, 2001.
21. Morris, J. Data Structure and Algorithms. University of Auckland. [Online] [Viitattu: 18.06.2014.] <https://www.cs.auckland.ac.nz/software/AlgAnim/searching.html#binary-search>.
22. Graham, D. Incremental development and delivery for large software systems, Col. Software prototyping and evolutionary development, IEE 1992.
23. Moløkken-Østvold, K & Jørgensen, M. A comparison of Software Project Overruns - Flexible versus Sequential Development Models, IEEE Transactions on software engineering, Vol. 31 No. 9 2005.
24. Moløkken, K. & Jørgensen, M. A review of surveys on software effort estimation, Proceedings of the 2003 International Symposium on Empirical Software Engineering, 2003.
25. Royce, W. Managing the development of large software systems. Proc. IEEE WESCON 1970.
26. Larman, G. Agile and Iterative Development: A Manager's Guide, 2003.
27. Design of inclined screwed Kerto-LVL connections with EN 1995-1-1, VTT 2011.

# Liitteet

## A. Kertoliitosten kartoitus

- A1. Liitosten luonnokset ja ryhmittely liitostyyppikartoituksessa
- A2. Yhteenveto Kerto-tuotteiden liitosten kartoituksen vastauksista
- A3. Kerto-tuotteista valmistettujen pilarien ja palkkien liitostyyppien kartoituksen tulokset

## B. Liitosmitoitushjelman määrittelyt

- B1. Liitinparametrit
- B2. Yksittäisen liittimen kapasiteetin mitoituksen määrittely puu-puu-liitoksissa
- B3. Puuosien välisen leikkausliitoksen mitoituksen määrittely

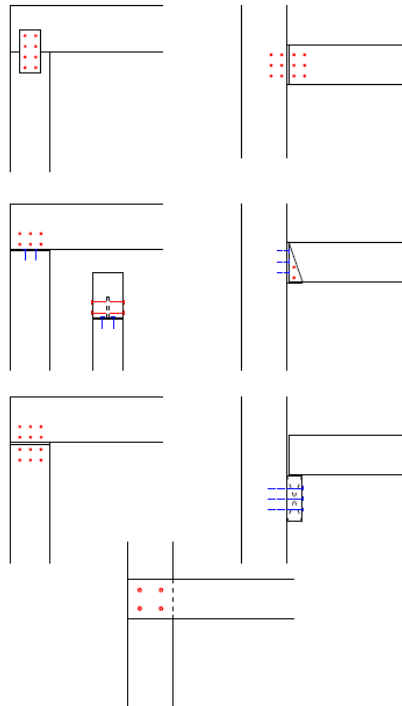
## C. Testaussuunnitelmat

- C1. Naulan kapasiteetin mitoituksen testaussuunnitelma
- C2. Ruuvien kapasiteetin mitoituksen testaussuunnitelma
- C3. Pultin kapasiteetin mitoituksen testaussuunnitelma
- C4. Tappivaarnan kapasiteetin mitoituksen testaussuunnitelma
- C5. Puu-puu-liitoksen mitoituksen testaussuunnitelma

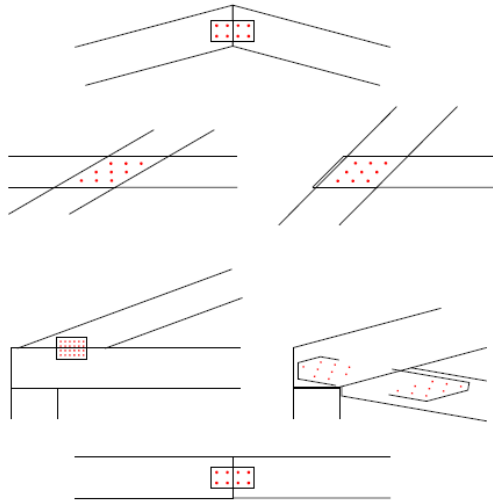
## D. Testaustulokset

- D1. Naulan kapasiteetin mitoituksen testauksen MathCAD-pohja
- D2. Naulan kapasiteetin mitoituksen tuloste liitosmitoitushjelmasta
- D3. Ruuvien kapasiteetin mitoituksen testauksen MathCAD-pohja
- D4. Ruuvien kapasiteetin mitoituksen tuloste liitosmitoitushjelmasta
- D5. Pultin kapasiteetin mitoituksen testauksen MathCAD-pohja
- D6. Pultin kapasiteetin mitoituksen tuloste liitosmitoitushjelmasta
- D7. Tappivaarnan kapasiteetin mitoituksen testauksen MathCAD-pohja
- D8. Tappivaarnan kapasiteetin mitoituksen tuloste liitosmitoitushjelmasta
- D9. Puuosien välisen leikkausliitoksen liitin- ja reunaetäisyyksien testauksen MathCAD-pohja
- D10. Puuosien välisen leikkausliitoksen mitoituksen testauksen MathCAD-pohja
- D11. Puuosien välisen leikkausliitoksen mitoituksen tuloste liitosmitoitushjelmasta

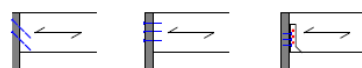
### Beam-and-post connections



### Connections of lattice and frame structures



### Beam-to-beam connections



### Connections of Kerto-Ripa elements

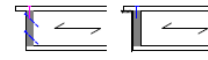
Screw connections for suspension loads



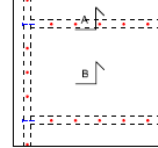
2D/3D diagonal screwing



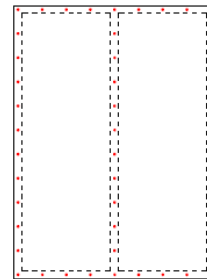
Inclined anchoring screw connection of a top slab supported Kerto-Ripa element



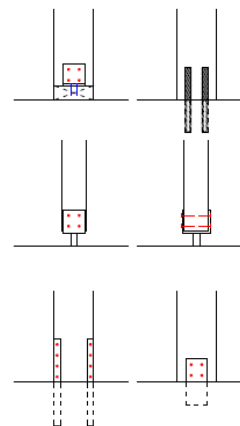
A-A B-B



### Panel-to-Kerto beam/column edge connection



### Foundation connections



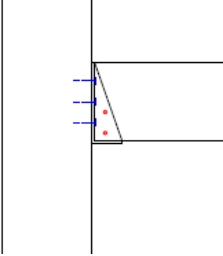
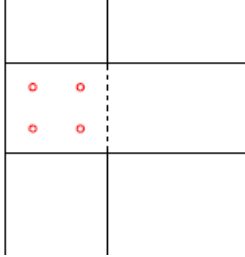
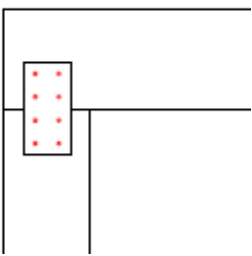
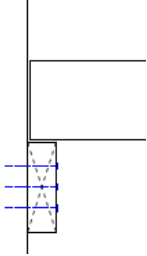
Liitokset eri käyttötarkoituksissa										Painotettu keskiarvo
1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1 Pilaripalkki -liitos										3,00
2 Palkki-palkki -liitokset										3,00
3 Kehien liitokset										2,56
4 Perustusliitokset										2,33
5 Pulttiympyrä, kolminivelkehä										1,78
6 Ristikot										1,78
7 Kerto-Vaneri/Puulevy/Metallilevy -liitos kolminivelkehän harjalla										1,44
8 Kerto-Ripa -elementtien yhteen liittäminen										2,56
9 Kerto-Ripa -elementtien kiinnitys päärunkoon										2,56
10 Kerto-Ripa -elementtien ripojen päätyruuvauksen päätypalkkiin										2,44
11 Ylälaatasta ripustetun Kerto-Ripa -elementin tukiliitos										2,22
12 Kerto-Ripa -elementin alalaatan liitos alapuoliseen puurakenteeseen										2,22
15 Ripustukset kattoelementteihin tai -palkkeihin										2,78
14 Levyjen kiinnitys Kerto-palkin tai -pilarin syrjään										2,78
13 Palosuojajäsenen nautaus										2,67
16 Puurakenteiden vahvistukset lisäkappaleella kylkeen										1,78
17 Liitosalueen tai loven vahvistus liittimillä										1,67
18 Kerto-Maxi -palkin liitokset										1,44

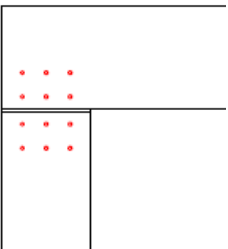
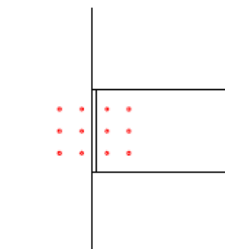
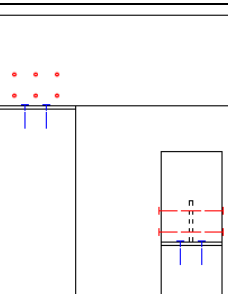
Saunarakenteiden liitokset	Harvoin käytetty
Kerto-Ripa-elementtien liitokset	Toisinaan käytetty
Aksiaalisesti rasitettut liitokset	Yleinen
Muut liitokset	

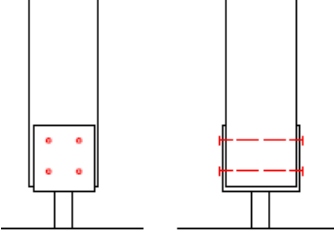
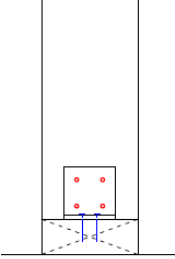
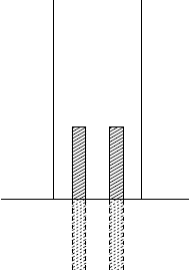
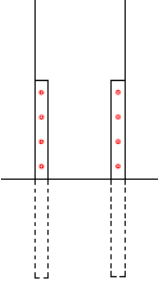
Vastausten numeerisessa arvioinnissa on käytetty seuraavaa skaalaa:

- Usein/Common = 3
- Toisinaan/Sometimes = 2
- Harvoin/Uncommon = 1
- Ei koskaan/Never = 0

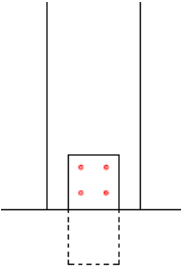
Pilarien-palkkienliitokset			
Liitostyyppi:	Kuvaus:	Käyttö:	
	Palkkikenkäliitos	1	3
		2	3
		3	2
		4	3
		5	1
		6	2
		7	3
		8	2
		<b>Painotettu ka.</b>	<b>2,43</b>
	Yksi- tai kaksileikkeinen leikkausliitos	1	1
		2	2
		3	3
		4	3
		5	3
		6	2
		7	3
		8	2
		<b>Painotettu ka.</b>	<b>2,43</b>
	Liitoslevyllinen kontaktiliitos	1	3
		2	3
		3	1
		4	3
		5	1
		6	2
		7	3
		8	3
		<b>Painotettu ka.</b>	<b>2,29</b>
	Tukipuuliitos	1	3
		2	2
		3	1
		4	1
		5	3
		6	2
		7	3
		8	1
		<b>Painotettu ka.</b>	<b>2,14</b>

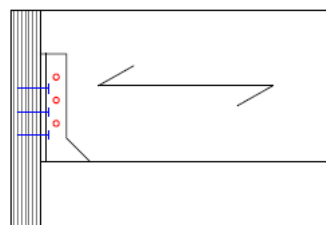
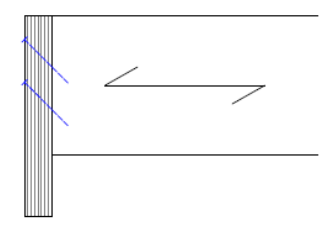
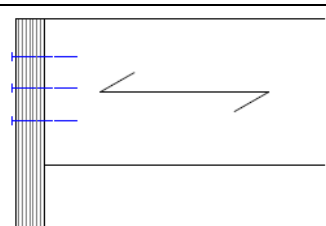
Liite A3. Yhteenveto Kerto-tuotteista valmistettujen pilarien ja palkkien liitostyyppien kartoituksen vastauksista  
(2/4)

	Liitoslevyllinen (rakenteen sisällä) kontaktiliitos	1	1
		2	1
		3	2
		4	3
		5	3
		6	2
		7	2
		8	1
		<b>Painotettu ka.</b>	<b>2</b>
	Liitoslevyllinen leikkausliitos	1	2
		2	1
		3	1
		4	3
		5	3
		6	2
		7	1
		8	1
		<b>Painotettu ka.</b>	<b>1,86</b>
	Kulmalevyllinen kontaktiliitos	1	0
		2	0
		3	1
		4	0
		5	2
		6	2
		7	1
		8	0
		<b>Painotettu ka.</b>	<b>0,86</b>

Perustusliitokset			
Liitostyyppi:	Kuvaus:	Käyttö:	
	Pilarikenkäliitos	1	3
		2	1
		3	3
		4	3
		5	3
		6	2
		7	3
		8	3
		<b>Painotettu ka.</b>	<b>2,57</b>
	Kulmalevyliitos	1	3
		2	3
		3	1
		4	2
		5	3
		6	2
		7	3
		8	1
		<b>Painotettu ka.</b>	<b>2,43</b>
	Liimatankoliitos (momenttiliitos)	1	3
		2	3
		3	1
		4	1
		5	1
		6	3
		7	3
		8	1
		<b>Painotettu ka.</b>	<b>2,14</b>
	Liitoslevyllinen momenttiliitos	1	1
		2	0
		3	1
		4	2
		5	1
		6	3
		7	1
		8	1
		<b>Painotettu ka.</b>	<b>1</b>

Liite A3. Yhteenveto Kerto-tuotteista valmistettujen pilarien ja palkkien liitostyyppien kartoituksen vastauksista  
(4/4)

	Liitoslevyllinen leikkausliitos	1	1
		2	0
		3	2
		4	1
		5	1
		6	1
		7	1
		8	1
		<b>Painotettu ka.</b>	<b>1</b>

Palkki-palkki-liitokset			
Liitostyyppi:	Kuvaus:	Käyttö:	
	Palkkikenkäliitos	1	3
		2	3
		3	3
		4	3
		5	3
		6	3
		7	3
		8	1
		<b>Painotettu ka.</b>	<b>3</b>
	Vinoruuvi-liitos	1	3
		2	2
		3	2
		4	0
		5	3
		6	1
		7	2
		8	3
		<b>Painotettu ka.</b>	<b>1,86</b>
	Päätynauhaus/päätynauhaus	1	3
		2	1
		3	1
		4	0
		5	1
		6	1
		7	2
		8	2
		<b>Painotettu ka.</b>	<b>1,14</b>



## Sileä pyöreä naula

1. Koko naulan pituus  $l$
2. Kärjen pituus  $l_p$  ( $0,5d \leq l_p \leq 2,5d$ , oletetaan arvoksi  $2,5d$  ellei käyttäjä määrittele muuta)
3. Halkaisija  $d$  ( $1,9 \text{ mm} \leq d \leq 8 \text{ mm}$ )
4. Kannan halkaisija  $d_h$  ( $d_h \geq \sqrt{2,5}d$ , oletetaan arvoksi vähintään tämä, jos käyttäjä ei määrittele muuta)

*Kannan halkaisija riippuu kannan muodosta. Jos käyttäjältä ei kysytä kantaan liittyviä tietoja, käytetään yllä olevaa minimiarvoa ja kerrotaan tuloksissa vaatimukset naulan kannalle.*

5. Langan vetolujuus  $f_u$  ( $f_u \geq 600 \text{ N/mm}^2$ )
6. Myötömomentin ominaisarvo  $M_{y,Rk}$  \* ( $f_u \geq 600 \text{ N/mm}^2$  &  $1,9 \text{ mm} \leq d \leq 8 \text{ mm}$ )
7. Esiporataanko vai ei (esiporaus pakotettava, kun  $d > 6 \text{ mm}$ )
8. Kärjenpuoleisen ulosvetolujuuden ominaisarvo  $f_{ax,k}$  \*) ( $t_{pen} \geq 12d$ )
9. Kannanpuoleisen läpivetolujuuden ominaisarvo  $f_{head,k}$

## Sileä neliskulmainen naula

**Pitkittäin uritetut naulat mitoitetaan sileinä neliskulmaisina nauloina.**

1. Koko naulan pituus  $l$
2. Kärjen pituus  $l_p$  ( $0,5d \leq l_p \leq 2,5d$ , oletetaan arvoksi  $2,5d$  ellei käyttäjä määrittele muuta)
3. Paksuus/sivun mitta  $d$  ( $1,9 \text{ mm} \leq d \leq 8 \text{ mm}$ )
4. Kannan halkaisija  $d_h$  ( $d_h \geq \sqrt{2,5}d$ , oletetaan arvoksi vähintään tämä, jos käyttäjä ei määrittele muuta)

*Kannan halkaisija riippuu kannan muodosta. Jos käyttäjältä ei kysytä kantaan liittyviä tietoja, käytetään yllä olevaa minimiarvoa ja kerrotaan tuloksissa vaatimukset naulan kannalle.*

5. Langan vetolujuus  $f_u$  ( $f_u \geq 600 \text{ N/mm}^2$ )
6. Myötömomentin ominaisarvo  $M_{y,Rk}$  \* ( $f_u \geq 600 \text{ N/mm}^2$  &  $1,9 \text{ mm} \leq d \leq 8 \text{ mm}$ )
7. Esiporataanko vai ei (esiporaus pakotettava, kun  $d > 6 \text{ mm}$ )
8. Kärjenpuoleisen ulosvetolujuuden ominaisarvo  $f_{ax,k}$  \*) ( $t_{pen} \geq 12d$ )
9. Kannanpuoleisen läpivetolujuuden ominaisarvo  $f_{head,k}$

\*) Näihin parametreihin voidaan käyttää EC5 laskennallisia arvoja, mahdolliset ehdot ilmoitettu suluissa

\*\*)Voidaan käyttää EC5 laskennallista arvoa mikäli seuraavat ehdot toteutuvat:

- $6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$
- $0,6 \text{ mm} \leq d_t/d \leq 0,75$
- ruuvi on kohtisuorassa suusuuntaa vastaan

## Profiloitu naula

**Profiloidun naulan kaavoja voidaan käyttää, kun profiloidun osan pituus on vähintään  $4,5d$  ja jonka ulosvetoparametrin ominaisarvo  $f_{ax,k}$  on vähintään  $4,5 \text{ N/mm}^2$  puutavarassa, jonka tiheyden ominaisarvo on vähintään  $350 \text{ kg/m}^3$ .**

1. Koko naulan pituus  $l$
2. Kärjen pituus  $l_p$  ( $0,5d \leq l_p \leq 2,5d$ , oletetaan arvoksi  $2,5d$  ellei käyttäjä määrittele muuta)
3. Profiloidun osan pituus (vähintään  $4,5d$ )
4. Halkaisija  $d$  ( $1,9 \text{ mm} \leq d \leq 8 \text{ mm}$ )
5. Kannan halkaisija  $d_h$  ( $d_h \geq \sqrt{2,5}d$ , oletetaan arvoksi vähintään tämä, jos käyttäjä ei määrittele muuta)

*Kannan halkaisija riippuu kannan muodosta. Jos käyttäjältä ei kysytä kantaan liittyviä tietoja, käytetään yllä olevaa minimiarvoa ja kerrotaan tuloksissa vaatimukset naulan kannalle.*

6. Langan vetolujuus  $f_u$  ( $f_u \geq 600 \text{ N/mm}^2$ )
7. Myötömomentin ominaisarvo  $M_{y,Rk}$  \* ( $f_u \geq 600 \text{ N/mm}^2$  &  $1,9 \text{ mm} \leq d \leq 8 \text{ mm}$ )
8. Esiporataanko vai ei (esiporaus pakotettava, kun  $d > 6 \text{ mm}$ )
9. Kärjenpuoleisen ulosvetolujuuden ominaisarvo  $f_{ax,k}$  ( $f_{ax,k} \geq 4,5 \text{ N/mm}^2$ )
10. Kannanpuoleisen läpivetolujuuden ominaisarvo  $f_{head,k}$

## Kansiruuvi

*Kierteellisen osan ulkohalkaisija  $d = \text{Sileän osan halkaisija } d_s$*

1. Koko ruuvin pituus  $l$
2. Kierteellisen osan pituus  $l_g$  ( $l_g \geq 4d$ ) (kärjestä)
3. Sileän osan halkaisija  $d_s$
4. Kierteellisen osan ulkohalkaisija  $d$  ( $2,4 \text{ mm} \leq d \leq 24 \text{ mm}$ )
5. Kierteellisen osan sisähalkaisija  $d_i$  ( $0,6d \leq d_i \leq 0,9d$ )
6. Kannan halkaisija
7. Ruuvin vetolujuuden ominaisarvo  $f_{u,k}$
8. Myötömomentin ominaisarvo  $M_{y,Rk}$  \* ( $f_u \geq 600 \text{ N/mm}^2$  &  $1,9 \text{ mm} \leq d \leq 8 \text{ mm}$ , jos  $d \leq 6 \text{ mm}$ )
9. Ulosvetolujuus  $f_{ax,k}$  \*\*
10. Kannan läpivetolujuus  $f_{head,k}$

\*) Näihin parametreihin voidaan käyttää EC5 laskennallisia arvoja, mahdolliset ehdot ilmoitettu suluissa

\*\*)Voidaan käyttää EC5 laskennallista arvoa mikäli seuraavat ehdot toteutuvat:

- $6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$
- $0,6 \text{ mm} \leq d_i/d \leq 0,75$
- ruuvi on kohtisuorassa suusuuntaa vastaan

## Yleisruuvit ja porakärkiruuvit (itseporautuvat ruuvit)

Sileän osan halkaisija  $d_s <$  kierteellisen osan ulkohalkaisija  $d$

1. Koko ruuvin pituus  $l$
2. Kierteellisen osan pituus  $l_g$  (kärjestä)
3. Sileän osan halkaisija  $d_s$
4. Kierteellisen osan ulkohalkaisija  $d$  ( $2,4 \text{ mm} \leq d \leq 24 \text{ mm}$ )
5. Kierteellisen osan sisähalkaisija  $d_i$
6. Kannan halkaisija
7. Ruuvin vetolujuuden ominaisarvo  $f_{u,k}$  \*\*
8. Myötömomentin ominaisarvo  $M_{y,Rk}$  \* ( $f_u \geq 600 \text{ N/mm}^2$  &  $1,9 \text{ mm} \leq d \leq 8 \text{ mm}$ , jos  $d \leq 6 \text{ mm}$ )
9. Ulosvetolujuus  $f_{ax,k}$
10. Kannan läpivetolujuus  $f_{head,k}$

## Pultit

1. Pultin halkaisija  $d$  eli pultin M-numero (kts. Taulukko 1)
2. Kierre osan sisähalkaisija  $d_i$  (kts. Taulukko 1)
3. Jännityspoikkipinta-ala  $A_s$  (kts. Taulukko 1)
4. Pultin pituus  $l$
5. Kierteisen osan pituus  $l_g$
6. Aluslaatan paksuus  $t_w$  ( $t_w \geq 0,3d$ )
7. Aluslaatan halkaisija/sivun pituus  $d_w$  ( $d_w \geq 3d$ )
8. Aluslaatan muoto (pyöreä/neliskulmainen)
9. Pultin vetolujuuden ominaisarvo  $f_{u,k}$  ( $f_{u,k} = f_{ub}$ , kts. Taulukko 2)
10. Pulttiluokka
11. Myötömomentin ominaisarvo  $M_{y,Rk}$  \*)
12. Ulosvetolujuus  $f_{ax,k}$
13. Kannan läpivetolujuus  $f_{head,k}$

\*) Näihin parametreihin voidaan käyttää EC5 laskennallisia arvoja, mahdolliset ehdot ilmoitettu suluissa

\*\*)Voidaan käyttää EC5 laskennallista arvoa mikäli seuraavat ehdot toteutuvat:

- $6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$
- $0,6 \text{ mm} \leq d_i/d \leq 0,75$
- ruuvi on kohtisuorassa suusuuntaa vastaan

Luokka	Nimellishalkaisija $d$ [mm]	Kierreosan sisähalkaisija $d_I$ [mm]	Jännityspoikkipinta-ala $A_s$ [mm <sup>2</sup> ]
M6	6	4,917	20,1
M7	7	5,917	28,9
M8	8	6,647	36,6
M10	10	8,376	58
M12	12	10,106	84,3
M14	14	11,835	115
M16	16	13,835	157
M18	18	15,294	192
M20	20	17,294	245
M22	22	19,294	303
M24	24	20,752	353
M27	27	23,752	459
M30	30	26,211	561

**Taulukko 1 Pulttien halkaisijat (ISO 898-1:2013, ISO 724)**

Ruuvien lujuusluokka	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	240	320	300	400	480	640	900
$f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )	400	400	500	500	600	800	1000

**Taulukko 2 Pulttien lujuusluokat (EN 1993-1-8 taulukko 3.1)**

## Tappivaarnat

1. Vaarnan pituus  $l$
2. Halkaisija  $d$  ( $6 \text{ mm} < d < 30 \text{ mm}$ )
3. Vaarnan vetolujuuden ominaisarvo  $f_{u,k}$
4. Myötömomentin ominaisarvo  $M_{y,Rk}$  \*
5. Ulosvetolujuus  $f_{ax,k}$
6. Vaarnan etäisyys liitososien vasemmasta reunasta
7. Vaarnan etäisyys liitososien oikeasta reunasta

\*) Näihin parametreihin voidaan käyttää EC5 laskennallisia arvoja, mahdolliset ehdot ilmoitettu suluissa

\*\*)Voidaan käyttää EC5 laskennallista arvoa mikäli seuraavat ehdot toteutuvat:

- $6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$
- $0,6 \text{ mm} \leq d_I/d \leq 0,75$
- ruuvi on kohtisuorassa suusuuntaa vastaan

## Liittyvät osat

### Parametrit

#### Käyttäjää valitsee puuosat:

Materiaalit: Kerto-S, Kerto-Q, Liimapuu, Sahatavara

Geometriset tiedot: Puuosan paksuus

Osien suunta: Lape lapetta vastaan tai lape syrjää vastaan

Kummankin osan syysuunnan ja kuorman välinen kulma

#### Liittimen tiedot:

Annettu erillisessä määrittelyssä

#### Tietokannasta:

Materiaalien tiheydet ja osavarmuusluvut

## Liittimien tehollinen halkaisija $d_{ef}$

Kansiruuveille tehollisen halkaisijan arvona  $d_{ef}$  käytetään sileän varren halkaisijaa ( $d_{ef} = d_s$ ), jos sileän varren kärjenpuoleinen tunkeuma on vähintään  $4d$ .

Muissa tapauksissa tehollinen halkaisija  $d_{ef} = 1,1 \cdot d_l$  eli 1,1 kertaa kierteen sisähalkaisija.

Kierteisille pulteille käytetään tehollisena halkaisijana myötömomentin ja reunapuristuslujuuden laskennassa kierreosan sisähalkaisijaa  $d_i$ , jos kierteinen osa on puun sisällä lähempänä kuin  $4d$ :n päässä leikkauspinnasta.

## Myötömomentin ominaisarvot

Myötömomentin laskennalliset arvot on esitetty alla eri liitintyypeille. Myötömomentti voidaan syöttää myös käsin. Maksimiarvo on 10 000 000.

### Naulat

Nauloille langan vetolujuuden  $f_u$  on oltava vähintään  $600 \text{ N/mm}^2$ . Profiloiduille nauloille, on myötömomentin ominaisarvo syötettävä käsin.

Pyöreille sileille nauloille:

$$M_{y,Rk} := 0.3 \cdot f_u \cdot d^{2.6} \cdot N \cdot mm$$

Nelikulmaisille ja uranauloille:

$$M_{y,Rk} := 0.45 \cdot f_u \cdot d^{2.6} \cdot N \cdot mm$$

Kampa- ja kierrenauloille (profiloiduille nauloille) myötömomentin arvot saatava valmistajalta.

## Ruuvit

$$M_{y.Rk} := 0.3 \cdot f_{u.k} \cdot d_{ef}^{2.6} \cdot N \cdot mm$$

## Pultit ja tappivaarnat

$$M_{y.Rk} := 0.3 \cdot f_{u.k} \cdot d_{ef}^{2.6} \cdot N \cdot mm$$

## Esiporaus

### Naulat

Naulat on esiporattava, jos naulan paksuus  $d > 6$  mm, puun tiheys  $\rho_k > 500$  kg/m<sup>3</sup>, lapeliitoksessa puuosan paksuus on pienempi kuin

$$t := \max \left[ 7d, (13d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{400} \right]$$

tai syrjäliitoksessa puuosan paksuus on pienempi kuin

$$t := \max \left[ 14d, (13d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{200} \right]$$

Yllä olevia kaavoja ei käytetä Kerto-Q:n lapeliitoksille.

### Ruuvit

Ruuveille porataan aina reikä, jos ruuvin halkaisija  $d_{ef} > 6$  mm. Pienemmille ruuveille sovelletaan samoja esiporauussääntöjä kuin nauloille. Kaavoissa käytetään tehollista halkaisijaa  $d_{ef}$  nimellishalkaisijan sijasta.

Pultit ja tappivaarnat esiporataan aina.

### Huomautukset

Nämä huomautukset tulee esittää käyttäjälle tuloksissa liittyen liittimien esiporaukseen, jos yllä olevat vaatimukset esiporaukselle täyttyvät tai käyttäjä valitsee esiporauksen:

- Esiporatuilla nauloilla puuhun porattavan reiän koon tulee olla 0,5..0,8d.
- Kansiruuvien kierreosalla esiporataan reikä, jonka halkaisija on 0,6..0,75d.
- Porakärjettömille itseporautuville ruuveille puuhun porattavan reiän koon tulee olla 0,5..0,7d, kuitenkin enintään ruuvien kierteisen osan sisähalkaisija  $d_1$ .
- Puuhun poratun pulttireiän halkaisija saa olla maksimissaan 1 mm suurempi kuin pultin halkaisija.
- Tappivaarnalle poratun reiän halkaisija pitää olla 0,95..1,00d.

## Reunapuristuslujuudet Kerto-S ja Kerto-Q -sauvoille

Kerto-S:n kaavoja reunapuristuslujuudelle voidaan käyttää myös sahatavaran ja liimapuun liitoksissa.

### Naulat

Kun naulan  $d \leq 8\text{mm}$

$$f_{h,k} := 0.082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0.3} \frac{N}{\text{mm}^2} \quad (\text{ilman reikien esiporausta})$$

$$f_{h,k} := 0.082 \cdot (1 - 0.01 \cdot d) \rho_k \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \quad (\text{reiät esiporattu})$$

Kerto-Q:n syrjäliitoksissa käytetään seuraavaa pienennyskerrointa reunapuristuslujuudelle:

$$1 - \frac{2}{d} \geq \frac{1}{3}$$

### Ruuvit

Ruuveille käytetään naulojen ja pulttien sääntöjä seuraavasti:

Jos  $d_{ef} > 6\text{mm}$  käytetään pultin sääntöjä

Jos  $d_{ef} \leq 6\text{mm}$  käytetään naulan sääntöjä

Ruuveilla reunapuristuslujuutta laskiessa käytetään tehollista halkaisijaa  $d_{ef}$ .

### Pultit ja tappivaarnat

Kun pultin halkaisija  $d \leq 30\text{mm}$

Kerto-S -osille:

$$f_{h,\alpha,k} := \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2} \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \quad \alpha \text{ on syysuunnan ja liitosta kuormittavan voiman välinen kulma}$$

$$f_{h,0,k} := 0.082 \cdot (1 - 0.01 d_{ef}) \cdot \rho_k \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \quad k_{90} := 1.30 + 0.015 \cdot d_{ef}$$

Kerto-Q -osille:

$$f_{h,\alpha,k} := \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2} \leq f_{h,45,k} \quad \text{Huom! } f_{h,\alpha,k} := f_{h,45,k}, \text{ kun } 45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$$

$$f_{h,0,k} := 37 \cdot k_Q \cdot (1 - 0.01 \cdot d_{ef}) \quad k_{90} := 1.15 + 0.015 d_{ef}$$

$$k_Q := \begin{cases} 1 & (\text{lapeliitoksissa}) \\ 1 - \frac{2}{d_{ef}} \leq 0.87 & (\text{syrjäliitoksissa}) \end{cases}$$

## Ulosvetokestävyys

### Naulat

Kärjenpuoleinen tunkeuma  $t_{pen}$  määritellään kärjenpuoleisen (profiloidun) osan tunkeutumana kärjenpuolimmaiseen puuosaan ilman viistetyn kärjen pituutta  $l_p$  ( $0.5d \leq l_p \leq 2.5d$ ).

Muut kuin sileät naulat:

$$F_{ax.Rk} := \min(f_{ax.k} \cdot d \cdot t_{pen}, f_{head.k} \cdot d_h^2)$$

Sileät naulat:

$$F_{ax.Rk} := \min(f_{ax.k} \cdot d \cdot t_{pen}, f_{ax.k} \cdot d \cdot t + f_{head.k} \cdot d_h^2)$$

Jos sileiden naulojen kärjenpuoleinen tunkeuma  $t_{pen}$  on vähintään  $8d$ , voidaan käyttää lapeliitoksissa ulosvetolujuudelle  $f_{ax.k}$  ja läpivetolujuudelle  $f_{head.k}$  seuraavia ominaisarvoja:

$$f_{ax.k} := 20 \cdot 10^{-6} \cdot \left( \rho_k \cdot \frac{m^3}{kg} \right)^2 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{head.k} := 70 \cdot 10^{-6} \cdot \left( \rho_k \cdot \frac{m^3}{kg} \right)^2 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Syrjäliitoksissa voidaan (samoilla ehdoilla) käyttää ulosvetolujuudelle seuraavaa ominaisarvoa:

$$f_{ax.k} := 0.32 \cdot d + 0.8 \cdot \frac{N}{mm^2}$$

Muissa tapauksissa arvot on saatava valmistajalta/tietokannasta.

Sileän naulan  $t_{pen}$  on vähintään  $8d$ . Jos  $8d \leq t_{pen} < 12d$ , kerrotaan sileiden naulojen

ulosvetokestävyys lausekkeella  $\frac{t_{pen}}{4d} - 2$ .

Kampa- tai kierrenaulan  $t_{pen}$  on vähintään  $6d$ . Jos  $6d \leq t_{pen} < 8d$ , kerrotaan kampa- ja

kierrenaulojen ulosvetokestävyys lausekkeella  $\frac{t_{pen}}{2d} - 3$ .

Jos arvoja ei anneta tai yllä olevat ehdot eivät täyty, oletetaan ulosvetokestävyys nollassa. Myös seuraavat ehdot on huomioitava:

- Profiloidun naulan ulosvetokestävyys ominaisarvon pitää olla vähintään  $4,5 \text{ N/mm}^2$ .

- Sileiden naulojen ulosvetokestävyys on nolla, jos kuorman aikaluokka on pysyvä tai pitkäaikainen.

- Käyttöluokassa 3 kerrotaan ulosvetolujuuden ja läpivetolujuuden ominaisarvot  $f_{ax,k}$  ja  $f_{head,k}$  luvulla  $2/3$ .



## Ruuvit

Ruuvien pitkittäinen kestävyys on minimi seuraavista arvoista:

- Ruuvien ulosvetokestävyys
- Ruuvien vetolujuus
- Ruuvien läpivetokestävyys

Jos kansiruuville valitaan kuusiokanta aluslevyllä, tarkastetaan myös aluslevyn kestävyys kuten pulteilla.

### Ruuvien ulosvetokestävyys

Jos  $6\text{ mm} \leq d_u \leq 12\text{ mm}$  ja  $0.6 \leq \frac{d_l}{d_u} \leq 0.75$  ( $d_l$  on kierteen sisähalkaisija ja  $d_u$  on kierteen

ulkohalkaisija) lasketaan ruuvien ulosvetokestävyys kaavasta:

$$F_{ax.\alpha.Rk} := \frac{f_{ax.k} \cdot d_u \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1.2 \cdot \cos(\alpha)^2 + \sin(\alpha)^2} \cdot N \quad \alpha \text{ on ruuvien akselin ja syysuunnan välinen kulma, kun } \alpha \geq 30\text{deg}$$

$$f_{ax.k} := 0.52 \cdot d_u^{-0.5} \cdot l_{ef}^{-0.1} \cdot \rho_k^{0.8}$$

$$k_d := \min\left(\frac{d_u}{8}, 1\right)$$

Jos edellä mainitut ruuvien halkaisijoihin liittyvät ehdot eivät toteudu ja/tai ruuvien akselin ja syysuunnan välinen kulma on alle  $30^\circ$ , käytetään alla olevaa kaavaa:

$$F_{ax.\alpha.Rk} := \frac{f_{ax.k} \cdot d_u \cdot l_{ef}}{1.2 \cdot \cos(\alpha)^2 + \sin(\alpha)^2} \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_a}\right)^{0.8} \cdot N$$

### Ruuvien vetolujuus

$$F_{t.Rk} := f_{tens.k}$$

RIL 205-2009, muutos 23.9.2010:

puuosien välisissä liitoksissa ruuvien vetomurtokestävyydelle voidaan käyttää arvoa:

$$f_{tens.k} := \frac{\pi \cdot (1.1 \cdot d_l)^2}{4} \cdot f_{u.k}$$

Vetomurtokestävyyden ominaisarvo voidaan selvittää myös kokeellisesti, jolloin käyttäjän on se annettava.

### Ruuvien läpivetokestävyys

$$F_{ax.\alpha.Rk} := f_{head.k} \cdot d_h^2 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_a}\right)^{0.8}$$

## Pultit

Ulosvetokestävyyden ominaisarvo on minimi seuraavista:

- Pultin vetokestävyys
- Aluslaatan kestävyys

## Pultin vetokestävyys

$$F_{t.Rk} := 0.9 A_S \cdot f_{u.k}$$

## Aluslaatan kestävyys

Aluslaatan kosketuspinnan leimapainenlujuuden ominaisarvona voidaan käyttää:

$$F_{c.Rk} := 3.0 \cdot f_{c.90.k}$$

$$A_w := \frac{\pi}{4} \cdot \left[ d_w^2 - (d_u + 1 \text{ mm})^2 \right] \quad (\text{pyöreät aluslaatat})$$

$$A_w := d_w^2 - \frac{\pi}{4} (d_u + 1 \text{ mm})^2 \quad (\text{nelikulmaiset aluslaatat})$$

Aluslaatan koko:

- Halkaisija/sivun pituus vähintään  $3d$
- Paksuus vähintään  $0,3d$

Ulkopuolisen teräslevyn yhteydessä puun leimapainekestävyys ja teräslevyn taivutuskestävyys tarkistetaan pulttikohtaisesti ympyräpinta-alalle, jonka halkaisija on enintään pienempi seuraavista:

- $12t_t$ , missä  $t_t$  on teräslevyn paksuus
- $4d$ , missä  $d$  on pultin paksuus

Tappivaarnoilla ei oleteta olevan ulosvetokestävyyttä.

## Yksittäisen liittimen kestävyys

### Liittimen kärjenpuoleinen tunkeuma

Liittimen kärjenpuoleinen tunkeuma lasketaan vähentämällä liittimen pituudesta ne puuosat, joista liitin menee läpi. Profiloiteja tai kierteisien osien vaikutusta ei tässä kohtaa huomioida.

### Poikittaiskestävyyden ominaisarvot

$$\beta := \frac{f_{h.2.k}}{f_{h.1.k}}$$

### Yksileikkeiset liitokset

$$F_{v.Rk.a} := f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d_{ef}$$

$$F_{v.Rk.b} := f_{h.2.k} \cdot t_2 \cdot d_{ef}$$

$$F_{v.Rk.c} := \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d_{ef}}{1 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \cdot \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax.Rk}}{4}$$

$$F_{v.Rk.d} := 1.05 \cdot \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d_{ef}}{2 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y.Rk}}{f_{h.1.k} \cdot d_{ef} \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax.Rk}}{4}$$

$$F_{v.Rk.e} := 1.05 \cdot \frac{f_{h.1.k} \cdot t_2 \cdot d_{ef}}{1 + 2 \cdot \beta} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y.Rk}}{f_{h.1.k} \cdot d_{ef} \cdot t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax.Rk}}{4}$$

$$F_{v.Rk.f} := 1.15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y.Rk} \cdot f_{h.1.k} \cdot d_{ef}} + \frac{F_{ax.Rk}}{4}$$

$$F_{v.Rk} := \min(F_{v.Rk.a}, F_{v.Rk.b}, F_{v.Rk.c}, F_{v.Rk.d}, F_{v.Rk.e}, F_{v.Rk.f})$$

## Kaksileikkeiset liitokset

$$F_{v.Rk.g} := f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d_{ef}$$

$$F_{v.Rk.h} := 0.5 f_{h.2.k} \cdot t_2 \cdot d_{ef}$$

$$F_{v.Rk.j} := 1.05 \cdot \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d_{ef}}{2 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y.Rk}}{f_{h.1.k} \cdot d_{ef} \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax.Rk}}{4}$$

$$F_{v.Rk.k} := 1.15 \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y.Rk} \cdot f_{h.1.k} \cdot d_{ef}} + \frac{F_{ax.Rk}}{4}$$

$$F_{v.Rk} := 2 \cdot \min(F_{v.Rk.g}, F_{v.Rk.h}, F_{v.Rk.j}, F_{v.Rk.k})$$

## Köysivaikutus

Murtotavoissa c, d, e, f, j ja k on huomioitu myös köysivaikutuksesta tuleva osuus

kestävyyteen  $\frac{F_{ax.Rk}}{4}$ .

Köysivaikutuksen osuutta puikkoliitosteorian mukaiseen osuuteen rajoitetaan seuraavasti:

- pyöreillä nauloilla max. 15 %
- nelikulmaisilla nauloilla ja uranauiloilla max. 25 %
- profiloidut naulat max. 50 %
- ruuveilla max. 100 %
- pulteilla max. 25 %
- tappivaarnoilla max. 0 %

Esimerkiksi pyöreillä nauloilla kestävyyden maksimiarvo on siis

$$F_{v.Rk} := F_{v.Rk.puikko} + 0.15 F_{v.Rk.puikko} \text{ jossa } F_{v.Rk.puikko} \text{ on puikkoliitosteorian mukainen}$$

kestävyys eli murtotavoissa c, d, e, f, j ja k kestävyyden arvo ilman osaa  $\frac{F_{ax.Rk}}{4}$ .

Köysivaikutuksesta tuleva osuus voidaan myös jättää kokonaan huomiotta.

## Kestävyyksien mitoitusarvot

Kestävyyden mitoitusarvo saadaan käyttämällä aikavaikutuskerrointa  $k_{mod}$  ja materiaalin osavarmuuslukua  $\gamma_M$ . Materiaalin osavarmuusluvut ovat materiaalista riippuvia ja ne määritellään automaattisesti kullekin materiaalille EC5:n Suomen kansallisen liitteen mukaisesti.

Kertopuulle:

$$\gamma_M := 1.2$$

Aikavaikutuskerroin riippuu rakenteen käyttöluokasta ja aikaluokasta. Nämä tulee kysyä käyttäjältä ja  $k_{mod}$  laskea näiden perusteella.

Kahden eri puumateriaalin liitoksissa käytetään sen materiaalin  $\gamma_M$  ja  $k_{mod}$  -kertoimia, jolla  $k_{mod}/\gamma_M$  -suhde on pienempi.

$$F_{v.Rd} := k_{mod} \cdot \frac{F_{v.Rk}}{\gamma_M} \quad \text{ja} \quad F_{ax.Rd} := k_{mod} \cdot \frac{F_{ax.Rk}}{\gamma_M}$$

## Liitinetäisyydet

### Naulat

Kolmen puuosan liitokset voidaan naulata molemmilta puolilta yksileikkeisesti. Jos keskipuun paksuuden ja keskipuuhun tunkeutuvan naulan kärjen tunkeuman erotus on yli  $4d$ , voidaan molemmin puolinen naulaus toteuttaa niin ettei alla olevia liitinetäisyyksiä tarvitse noudattaa eripuolelta lyötyjen naulojen välillä. Muussa tapauksessa liitinetäisyyksiä pitää noudattaa myös molemmin puolin naulatuissa liitoksissa.

Minimivälit ja reuna- ja päätyetäisyydet Kerton lappeen puolelta lyödyille nauloille:

Väli tai etäisyys	Kulma $\alpha$	EI REIKIEN ESIPORAUSTA		REIKIEN ESIPORAUS	
		Kerto-S Kerto-T	Kerto-Q	Kerto-S Kerto-T	Kerto-Q
Väli $a_1$ (syiden suuntaan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(5+5 \cos\alpha )d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(5+7 \cos\alpha )d$	$(5+2 \cos\alpha )d$	$(4+ \cos\alpha )d$	$(4+ \cos\alpha )d$
Väli $a_2$ (kohti-suoraan syitä vastaan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$5d$	$(3+\sin\alpha)d$	$(3+\sin\alpha)d$
Etäisyys $a_{3,t}$ (kuormitettu pää)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10+5\cos\alpha)d$	$(4+3\cos\alpha)d$	$(7+5\cos\alpha)d$	$(4+3\cos\alpha)d$
Etäisyys $a_{3,c}$ (kuormittamaton pää)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$4d$	$7d$	$4d$
Etäisyys $a_{4,t}$ (kuormitettu reuna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(5+2\sin\alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(5+5\sin\alpha)d$	$(3+4\sin\alpha)d$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(3+2\sin\alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(3+4\sin\alpha)d$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(3+2\sin\alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(3+4\sin\alpha)d$
Etäisyys $a_{4,c}$ (kuormittamaton reuna)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$3d$	$3d$	$3d$

Minimivälit ja reuna- ja päätyetäisyydet Kerton syrrään lyödyille nauloille:

		EI REIKIEN ESIPORAUSTA	REIKIEN ESIPORAUS
Väli tai etäisyys	Kulma $\alpha$	Kerto-S Kerto-Q Kerto-T	Kerto-S Kerto-Q Kerto-T
Väli $a_1$ (syiden suuntaan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(7+8 \cos\alpha )d$	$1,4(4+ \cos\alpha )d$
Väli $a_2$ (kohti-suoraan syitä vastaan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$7d$	$1,4(3+ \cos\alpha )d$
Etäisyys $a_{3,t}$ (kuormitettu pää)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(15+5\cos\alpha)d$	$1,4(7+5\cos\alpha)d$
Etäisyys $a_{3,c}$ (kuormittamaton pää)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$15d$	$9,8d$
Etäisyys $a_{4,t}$ (kuormitettu reuna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(7+2\sin\alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(7+5\sin\alpha)d$	$d < 5 \text{ mm:}$ $1,4(3+2\sin\alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $1,4(3+4\sin\alpha)d$
Etäisyys $a_{4,c}$ (kuormittamaton reuna)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$7d$	$4,2d$

**Ruuvit**

Minimivälit ja reuna- ja päätyetäisyydet Kerton lapeen puolelta ruuvatuille ruuveille, kun  $d_{ef} \leq 6 \text{ mm}$ .

väli tai etäisyys	kulma $\alpha$	ei reikien esiporausta		reikien esiporaus	
		Kerto-S Kerto-T	Kerto-Q	Kerto-S Kerto-T	Kerto-Q
väli $a_1$ (syiden suuntaan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$ : $(5 + 5  \cos \alpha ) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$ : $(5 + 7  \cos \alpha ) d$	$(5 + 2  \cos \alpha ) d$	$(4 +  \cos \alpha ) d$	$(4 +  \cos \alpha ) d$
väli $a_2$ (kohtisuoraan syitä vastaan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5 d$	$5 d$	$(3 + \sin \alpha) d$	$(3 + \sin \alpha) d$
etäisyys $a_{3,t}$ (kuormi- tettu pää)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10 + 5 \cos \alpha) d$	$(4 + 3 \cos \alpha) d$	$(7 + 5 \cos \alpha) d$	$(4 + 3 \cos \alpha) d$
etäisyys $a_{3,c}$ (kuormitta- maton pää)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10 d$	$4 d$	$7 d$	$4 d$
etäisyys $a_{4,t}$ (kuormi- tettu reuna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$ : $(5 + 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$ : $(5 + 5 \sin \alpha) d$	$(3 + 4 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm}$ : $(3 + 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm}$ : $(3 + 4 \sin \alpha) d$	$d_{ef} < 5 \text{ mm}$ : $(3 + 2 \sin \alpha) d$ $d_{ef} \geq 5 \text{ mm}$ : $(3 + 4 \sin \alpha) d$
etäisyys $a_{4,c}$ (kuormit- tamaton reuna)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5 d$	$3 d$	$3 d$	$3 d$

Minimivälit ja reuna- ja päätyetäisyydet Kerton syriän puolelta ruuvatuille ruuveille, kun  $d_{ef} \leq 6 \text{ mm}$ .

väli tai etäisyys	kulma $\alpha$	EIREIKIEN	
		ESIPORAUSTA	REIKIEN ESIPORAUS
		Kerto-S Kerto-Q Kerto-T	Kerto-S Kerto-Q Kerto-T
Väli $a_1$ (syiden suuntaan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(7 + 8  \cos \alpha ) d_{ef}$	$1,4 (4 +  \cos \alpha ) d_{ef}$
Väli $a_2$ (kohtisuoraan syitä vastaan)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$7 d_{ef}$	$1,4 (3 + \sin \alpha) d_{ef}$
Etäisyys $a_{3,t}$ (kuormitettu pää)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(15 + 5 \cos \alpha) d_{ef}$	$1,4 (7 + 5 \cos \alpha) d_{ef}$
Etäisyys $a_{3,c}$ (kuormittamaton pää)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$15 d_{ef}$	$9,8 d_{ef}$
Etäisyys $a_{4,t}$ (kuormitettu reuna)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d_{ef} < 5 \text{ mm}:$ $(7 + 2 \sin \alpha) d_{ef}$	$d_{ef} < 5 \text{ mm}:$ $1,4 (3 + 2 \sin \alpha) d_{ef}$
		$d_{ef} \geq 5 \text{ mm}:$ $(7 + 5 \sin \alpha) d_{ef}$	$d_{ef} \geq 5 \text{ mm}:$ $1,4 (3 + 4 \sin \alpha) d_{ef}$
Etäisyys $a_{4,c}$ (kuormittamaton reuna)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$7 d_{ef}$	$4,2 d_{ef}$

Minimivälit ja reuna- ja päätyetäisyydet, kun  $d_{ef} > 6 \text{ mm}$ .

RUUVIEN LIITINVÄLIT SEKÄ REUNA- JA PÄÄTYETÄISYYDET	KULMA	SAHATAVARAN JA LIIMAPUUN VÄHIMMÄISARVOT	KERTO-S JA KERTO-T LAPE- JA SYRJÄLIITOSTEN SEKÄ KERTO-Q SYRJÄLIITOSTEN VÄHIMMÄISARVOT	KERTO-Q LAPELIITOSTEN VÄHIMMÄISARVOT
$a_1$	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 +  \cos \alpha ) d$	$(4 + 3  \cos \alpha ) d$ <sup>4)</sup>	$4 d$
$a_2$	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 d$ <sup>1)</sup>	$4 d$ <sup>1)</sup>	$4 d$ <sup>1)</sup>
$a_{3t}$	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 d ; 80 \text{ mm})$	$\max(7 d ; 105 \text{ mm})$ <sup>2)</sup>	$\max(4 d ; 60 \text{ mm})$ <sup>3)</sup>
$a_{3c}$	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(1 + 6 \sin \alpha) d$	$(1 + 6 \sin \alpha) d$	$4 d$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$4 d$	$4 d$	$4 d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(1 + 6  \sin \alpha ) d$	$(1 + 6  \sin \alpha ) d$	$4 d$
$a_{4t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2 + 2 \sin \alpha) d ; 3 d)$	$\max((2 + 2 \sin \alpha) d ; 3 d)$	$\max((2 + 2 \sin \alpha) d ; 3 d)$
$a_{4c}$	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$	$3 d$	$3 d$

<sup>1)</sup> Lohkeamismurto tulee tarkastaa myös puuosien välisissä liitoksissa, jos  $a_2 < 5 d$ .

<sup>2)</sup>  $d < 15 \text{ mm}$  ruuveilla vähimmäis-päätyetäisyys voidaan pudottaa arvoon  $7 d$ , jos reunapuristuslujuutta  $f_{h,0,k}$  pienennetään kertoimella  $a_3 / (105 \text{ mm})$ .

<sup>3)</sup>  $d < 15 \text{ mm}$  tappivaarinoilla vähimmäis-päätyetäisyys voidaan pudottaa arvoon  $4 d$ , jos reunapuristuslujuutta  $f_{h,0,k}$  pienennetään kertoimella  $a_3 / (60 \text{ mm})$ .

<sup>4)</sup> Vähimmäisetäisyyttä voidaan pienentää  $5 d$  saakka, jos reunapuristuslujuutta  $f_{h,0,k}$  pienennetään kertoimella

$$\sqrt{\frac{a_1}{4 + 3 |\cos \alpha| d}}$$



## Pulttit

PULTTIIEN LIITINVÄLIT SEKÄ REUNA- JA PÄÄTYETÄISYYDET	KULMA	SAHATAVARAN JA LIIMAPUUN VÄHIMMÄISARVOT	KERTO-S JA KERTO-T LIITOSTEN SEKÄ KERTO-Q SYRJÄLIITOSTEN VÄHIMMÄISARVOT	KERTO-Q LAPELIITOSTEN VÄHIMMÄISARVOT
$a_1$	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4+ \cos \alpha ) d$	$(4+3 \cos \alpha ) d^{(4)}$	$4 d$
$a_2$	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 d^{(1)}$	$4 d^{(1)}$	$4 d^{(1)}$
$a_{3t}$	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 d; 80 \text{ mm})$	$\max(7 d; 105 \text{ mm})^{(2)}$	$\max(4 d; 60 \text{ mm})^{(3)}$
$a_{3c}$	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	$(1+6 \sin \alpha) d$	$(1+6 \sin \alpha) d$	$4 d$
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	$4 d$	$4 d$	$4 d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(1+6  \sin \alpha ) d$	$(1+6  \sin \alpha ) d$	$4 d$
$a_{4t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2+2 \sin \alpha) d; 3 d)$	$\max((2+2 \sin \alpha) d; 3 d)$	$\max((2+2 \sin \alpha) d; 3 d)$
$a_{4c}$	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$	$3 d$	$3 d$

1) Lohkeamismurto tulee tarkastaa myös puuosien välisissä liitoksissa, jos  $a_2 < 5d$ .

2)  $d < 15 \text{ mm}$  pulteilla vähimmäis-päätyetäisyys voidaan pudottaa arvoon  $7d$ , jos reunapuristuslujuutta  $f_{h,0,k}$  pienennetään kertoimella  $a_3 / (105 \text{ mm})$ .

3)  $d < 15 \text{ mm}$  tappivaarnoilla vähimmäis-päätyetäisyys voidaan pudottaa arvoon  $4d$ , jos reunapuristuslujuutta  $f_{h,0,k}$  pienennetään kertoimella  $a_3 / (60 \text{ mm})$ .

4) Vähimmäisetäisyyttä voidaan pienentää  $5d$  saakka, jos reunapuristuslujuutta  $f_{h,0,k}$  pienennetään kertoimella

$$\sqrt{\frac{a_1}{4 + 3|\cos \alpha|} d}$$

## Tappivaarnat

	KULMA	SAHATAVARAN JA LIIMAPUUN VÄHIMMÄISARVOT	KERTO-S JA KERTO-T LIITOSTEN SEKÄ KERTO-Q SYRJÄLIITOSTEN VÄHIMMÄISARVOT	KERTO-Q LAPELIITOSTEN VÄHIMMÄISARVOT
$a_1$	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3+2 \cos \alpha ) d$	$(4+3 \cos \alpha ) d^{(4)}$	$(3+ \cos \alpha ) d$
$a_2$	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d^{(1)}$	$3 d^{(1)}$	$3 d^{(1)}$
$a_{3t}$	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7d; 80 \text{ mm})$	$\max(7d; 105 \text{ mm})^{(2)}$	$\max(4d; 60 \text{ mm})^{(3)}$
$a_{3c}$	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$a_{3t}  \sin \alpha $	$a_{3t}  \sin \alpha $	$(3+ \sin \alpha ) d$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$3 d$	$3 d$	$(3+ \sin \alpha ) d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$a_{3t}  \sin \alpha $	$a_{3t}  \sin \alpha $	$(3+ \sin \alpha ) d$
$a_{4t}$	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max((2+2 \sin \alpha) d; 3 d)$	$\max((2+2 \sin \alpha) d; 3 d)$	$\max((2+2 \sin \alpha) d; 3 d)$
$a_{4c}$	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$	$3 d$	$3 d$

1) Lohkeamismurto tulee tarkastaa myös puuosien välisissä liitoksissa, jos  $a_2 < 4d$ .

2)  $d < 15 \text{ mm}$  tappivaarnoilla vähimmäispäätyetäisyys voidaan pudottaa arvoon  $7d$ , jos reunapuristuslujuutta  $f_{h,0,k}$  pienennetään kertoimella  $a_3 / (105 \text{ mm})$ .

3)  $d < 15 \text{ mm}$  tappivaarnoilla vähimmäis-päätyetäisyys voidaan pudottaa arvoon  $4d$ , jos reunapuristuslujuutta  $f_{h,0,k}$  pienennetään kertoimella  $a_3 / (60 \text{ mm})$ .

4) Vähimmäisetäisyyttä voidaan pienentää  $5d$  saakka, jos reunapuristuslujuutta  $f_{h,0,k}$  pienennetään kertoimella

$$\sqrt{\frac{a_1}{4 + 3|\cos \alpha|} d}$$

## Liitossiirtymä

### Siirtymäkerroin $K_{ser}$

Jos puuosilla on eri keskimääräiset tiheydet  $\rho_{m,1}$  ja  $\rho_{m,2}$ , käytetään seuraavissa lausekkeissa suuretta:

$$\rho_m := \sqrt{\rho_{m,1} \cdot \rho_{m,2}}$$

### Esiporaamattomille nauloille

$$K_{ser} := \frac{\rho_m^{1.5} \cdot d^{0.8}}{30} \cdot \frac{N}{mm}$$

### Muille liittimille

$$K_{ser} := \frac{\rho_m^{1.5} \cdot d}{23} \cdot \frac{N}{mm}$$

## Liittyvät osat

Kerto-S, Kerto-Q: Paksuus, korkeus, tiheys, osavarmuusluku

Osien suunta: Lape lapetta vastaan tai lape syrjää vastaan

Osien välinen kulma  $\alpha$

## Liittimen tiedot

Annettu erillisessä määrittelyssä

## Kuormitus

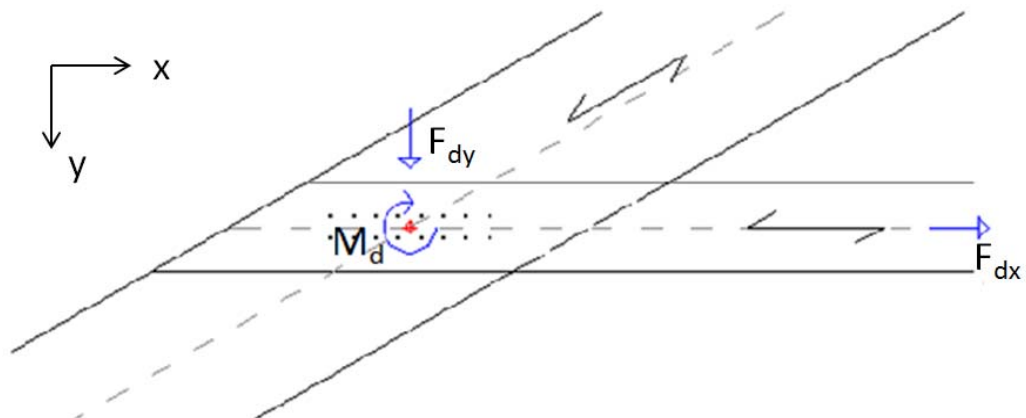
Käyttäjältä on kysyttävä sekä MRT-yhdistelmästä, että KRT-yhdistelmästä tulevat kuormat liitoskestävyyden ja liitossiirtymän laskemiseksi.

Kahden puuosan liitoksissa kasvatetaan voimia kertoimella 1,5 epäsymmetrisyyden vuoksi, jos liitosta ei ole tuettu sivusuunnassa.

Liittyvän puun syysuuntainen veto- tai puristusvoima  $F_{dx}$

Leikkausvoima liittyvän puun syysuuntaa kohtisuoraan  $F_{dy}$

Momentti liitoksen keskipisteessä (liitososien keskilinjojen leikkauspisteessä)  $M_d$



## Liitokseen tuleva kokonaismomentti

$$M_p := M_d + F_{d,x} \cdot y + F_{d,y} \cdot x,$$

jossa y ja x ovat liitinryhmän painopisteen etäisyydet kuormituslinjoista.

Momenttien positiiviset suunnat tulee ottaa huomioon:

$F_{d,x} \cdot y$  on positiivinen (myötäpäivään), jos liitinryhmän painopiste on x-suuntaisen kuormituslinjan alapuolella

$F_{d,y} \cdot x$  on positiivinen (myötäpäivään), jos liitinryhmän painopiste on y-suuntaisen kuormituslinjan vasemmalla puolella.

## Liitosryhmän painopiste

$$x_c := \sum_n \frac{x_i}{n} \quad y_c := \sum_n \frac{y_i}{n}$$

**Liitinryhmän jäyhyysmomentti**

Liittimen ja liitinryhmän painopisteen välisen etäisyyden neliöiden summa:

$$I_p := \sum_n (x_i^2 + y_i^2)$$

**Liitinrasitukset**

$$q_x := \frac{M_p}{I_p} \cdot y_i + \frac{F_{v,d,x}}{n} \quad \text{ja} \quad q_y := \frac{M_p}{I_p} \cdot x_i + \frac{F_{v,d,y}}{n}$$

$$q_d := \sqrt{q_x^2 + q_y^2}$$

**Voiman ja syyn välinen kulma**

$$\alpha := \operatorname{atan}\left(\frac{q_y}{q_x}\right)$$

Jos liittimenä käytetty pultteja, tappivaarvoja tai paksuja ruuveja ( $d > 6\text{ mm}$ ), vaikuttaa voimaresultantin ja syyn välinen kulma reunapuristuslujuuteen, joten sitä on korjattava ja mitoitus tarkistettava tällä uudella kestävyysarvolla.

**Tehollinen liittinten määrä**

Tehollisten liittimien määrä tulee tarkastaa, kun syysuuntaisia liitinrivejä on vain yksi. Muissa tapauksissa tarkastetaan liitoksen lohkeamismurtokestävyys.

**Naulat ja pienet ruuvit**

Koskee myös ruuveja, kun ruuvin  $d_{ef} \leq 6\text{ mm}$

Kerto-Q:lle lapeliitoksissa  $n_{ef} := n$  aina.

Syysuuntaisten peräkkäisten naulojen tehollinen määrä

$$n_{ef} := n^{k_{ef}}$$

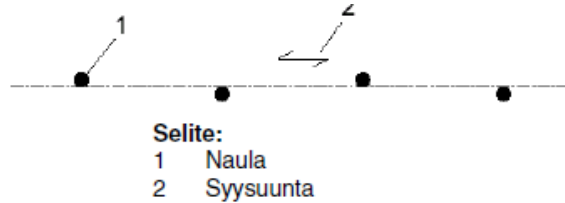
Taulukko 8.1 Eksponentin  $k_{ef}$  arvot

Naulaväli <sup>a</sup>	$k_{ef}$	
	Ei esiporausta	Esiporaus
$a_t \geq 14d$	1,0	1,0
$a_t = 10d$	0,85	0,85
$a_t = 7d$	0,7	0,7
$a_t = 4d$	—	0,5
<sup>a</sup> Naulavälin väliarvoilla eksponentin $k_{ef}$ arvo saadaan lineaarisesti interpoloimalla		

Syrjäliitoksissa kertoimelle  $k_{ef}$  käytetään seuraavaa kaavaa:

$$k_{ef} := 1 - \frac{0.03 \cdot (20d - a_I)}{d} \leq 1$$

Jos naulojen väli on siis yli  $14d$  tai naulat ovat mitan  $d$  verran syysuunnasta sivussa, ei tehollisten naulojen määrää tarvitse vähentää.



Kuva 8.6 Syysuuntaisessa rivissä olevat peräkkäiset naulat mitan  $d$  verran syysuunnasta sivussa

### Pultit, tappivaarnat ja isot ruuvit

Nämä säännöt koskevat myös ruuveja, kun ruuvin halkaisija  $d_{ef} > 6\text{ mm}$  ja tappivaarnoja.

Syysuuntaisen pulttirivin pulttien tehollinen määrä kuormituksen syysuuntaiselle komponentille:

$$n_{ef} := \min \left( n, n^{0.9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a \cdot t}{50 \cdot d}} \right)$$

jossa  $a := \min(a_I, a_3)$

$$t := \begin{cases} \min(t_1, t_2) & \text{if Yksileikkeinen liitos} \\ \min(2 \cdot t_1 \dots t_2) & \text{if Kaksileikkeinen liitos} \end{cases}$$

Kokonaiskuorman suunnan poiketessa syysuunnasta:

$$n_{ef} := n$$

Jos kuorman ja syysuunnan välillä on kulma  $\alpha$  ( $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ ) lasketaan erikseen syysuuntainen komponentti  $n_{ef}$ :llä ja kokonaiskuorma  $n$ :llä.

## Halkeamismurtokestävyys

**Halkeamismurtokestävyys tarkistetaan kaikille puuosille, joille kohdistuu syysuuntaan vastaan kohtisuora kuormakomponentti.**

Halkeamismurtotarkastelulla tarkastetaan ettei kuorman syysuuntaa vastaan kohtisuora komponentti aiheuta puukappaleen halkeamista.

Kerto-Q:lle tarkastelua ei tarvitse tehdä sillä tuotteen poikkiviilut ehkäisevät halkeamista.

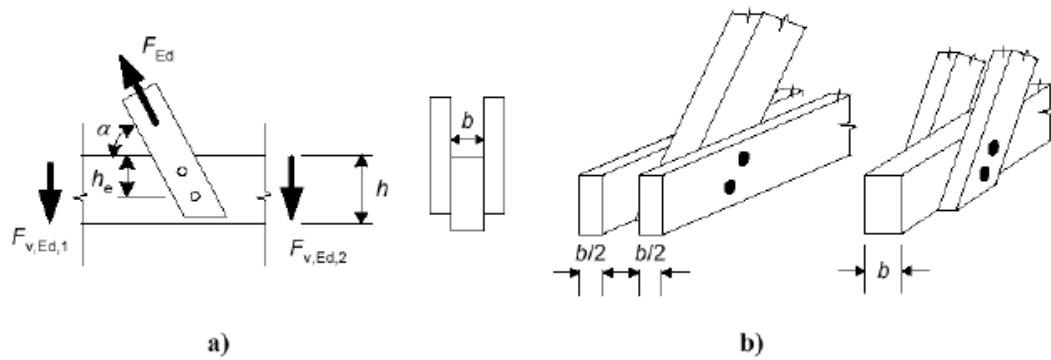
$$F_{v.Ed} \leq F_{90.Rd}$$

$$F_{90.Rk} := 14 \cdot b \cdot \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}}$$

$F_{v.Ed} := \max(F_{v.Ed,1}, F_{v.Ed,2})$ , jossa  $F_{v.Ed,1}$  ja  $F_{v.Ed,2}$  ovat puun syitä vastaan kohtisuoran

liitosvoimakomponentin aiheuttamat leikkausvoimat.

Leikkausvoimana käytetään puun syitä vastaan kohtisuoraan liitosvoiman komponenttia. Komponentissa on huomioitava sekä  $F_{dx}$ , että  $F_{dy}$ .



Kuva 8.1 Liitoksen välittämä vino voima

## Lohkeamismurtokestävyys

Tarkistetaan, jos liitos koostuu useammasta kuin yhdestä syysuunnan suuntaisesta liitinnivistä. Yhden rivin liitoksissa  $n_{ef}$ :n käyttäminen yllä olevissa tarkastuksissa riittää.

Tarkastelu tehdään kullekin sauvan päälle, jos niihin kohdistuu sauvan syysuunnan suuntainen kuormakomponentti. Jos sauva on jatkuva, ei tarkastelua tarvitse tehdä.

Eri materiaaleille käytetään hieman poikkeavia menetelmiä:

- Kerto-sertifikaatin menetelmä Kerto-tuotteille pultti- ja tappivaarnaliitoksilla
- Liimapuuliitosmenetelmä liimapuuosille pultti- ja tappivaarnaliitoksissa
- EC5 liitteen A menetelmä sahatavaralle ja naula- ja ruuviliitoksille

Reunapuulle tarkastetaan näiden yhteenlaskettu kestävyys ja keskipuulle sen oma kestävyys

### Kerto-tuotteille pultti- ja tappivaarnaliitoksissa

(VTT-sertifikaatti Nro VTT-C-184-03)

Kestävyyttä varten määritetään sisä- ja reunaosien kestävyys puuosille.

### Lähtötiedot

$t_i$  on sauvan  $i$  paksuus

$a_1$  on liitinväli puun syysuunnassa

$a_2$  on liitinväli kohtisuoraan syitä vastaan

$a_3$  on päätyetäisyys

$a_4$  on reunaetäisyys

$n$  on liittimien lukumäärä

$n_2$  on vierekkäisten liitinnivien lukumäärä

$n_1$  on peräkkäisten liittimien lukumäärä

$d$  on liittimen tehollinen paksuus

$d$  on liittimelle poratun reiän halkaisija (nimellishalkaisija + 1 mm)

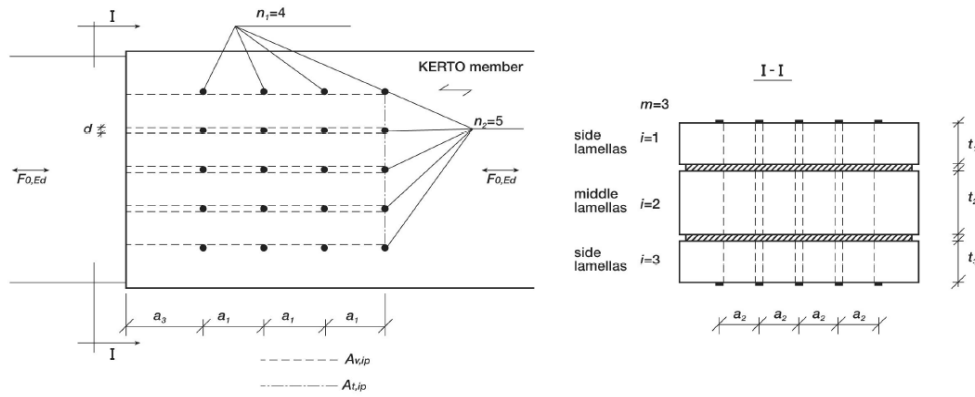
$f_y$  on liittimen myötölujuus

$f_{h,0,k}$  on reunapuristuslujuus puun syiden suunnassa

$f_{t,0,k}$  on Kerto-tuotteen vetolujuus ilman pituusvaikutuskerrointa

$f_{v,k}$  on Kerto-tuotteen leikkauslujuus; lapeliitoksissa  $f_{v,0,edge,k}$  ja syrjäliitoksissa  $f_{v,0,flat,k}$

## Puusauvan *i* sisäosien puustamurtokestävyys



Reunapuille

$$t_{ef,i} := \min \left( t_i, 0.68 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{f_y}{f_{h,0,k}}} \right)$$

Keskipuille

$$t_{ef,i} := \min \left( t_i, 1.63 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{f_y}{f_{h,0,k}}} \right)$$

Yksileikkeisille liitoksille käytetään molemmille puuosille reunapuiden kaavaa, kaksileikkeisillä liitoksissa keskipuille käytetään keskipuiden kaavaa.

$$A_{h,ip} := (n - n_1) \cdot d_{ef} \cdot t_i$$

$$A_{t,ip} := (n_2 - 1) \cdot (a_2 - d) \cdot t_i$$

$$A_{v,ip} := 2 \cdot (n_2 - 1) \cdot [(n_1 - 1) \cdot a_1 + a_3] \cdot t_{ef,i}$$

$$F_{t,k} := 1.7 \cdot n_1^{-0.1} \cdot A_{t,ip} \cdot f_{t,0,k}$$

$$k_v := 0.7 \quad \text{Kerto-S ja Kerto-Q syrjällään}$$

$$k_v := 1 \quad \text{Kerto-Q lappeellaan}$$

$$F_{v,k} := k_v \cdot n_1^{-0.1} \cdot A_{v,ip} \cdot f_{v,k}$$

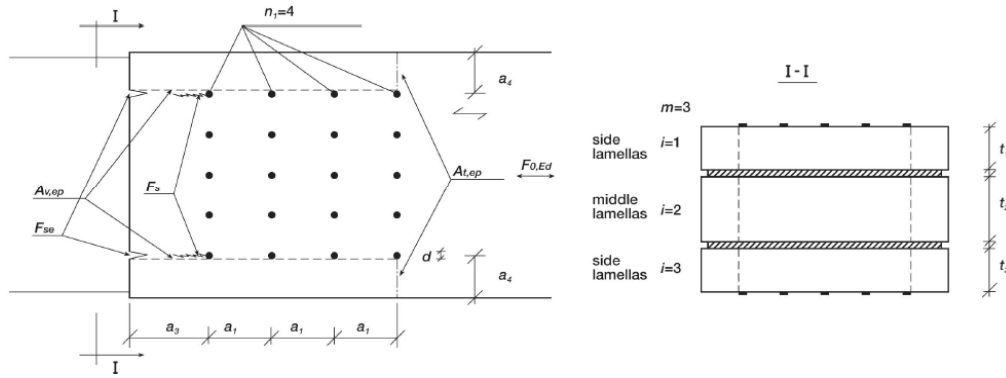
$$F_{tv,k} := \begin{cases} F_{t,k} \cdot \left( 1 - 0.3 \cdot \frac{F_{t,k}}{F_{v,k}} \right) & \text{if } F_{t,k} \leq F_{v,k} \\ F_{v,k} \cdot \left( 1 - 0.3 \cdot \frac{F_{v,k}}{F_{t,k}} \right) & \text{if } F_{v,k} < F_{t,k} \end{cases}$$

$$F_{cv,k} := F_{v,k} + (n_2 - 1) \cdot d \cdot t_{ef,i} \cdot f_{h,0,k}$$

$$F_{ip,Rk} := \min(A_{h,ip} \cdot f_{h,0,k}, F_{tv,k}) \quad (\text{vedetyt liitokset})$$

$$F_{ip,Rk} := \min(A_{h,ip} \cdot f_{h,0,k}, F_{cv,k}) \quad (\text{puristetut liitokset})$$

## Puusauvan *i* reunaosien puustamurtokestävyys



$$A_{h,ep} := n_1 \cdot d_{ef} \cdot t_i$$

$$A_{t,ep} := (2 \cdot a_4 - d) \cdot t_i$$

$$A_{v,ep} := 2 \cdot [(n_1 - 1) \cdot a_1 + a_3] \cdot t_{ef,i}$$

$$k_{t,ep} := \frac{1}{1 + \frac{A_{t,ep}}{A_{v,ep}}}$$

$$s_{hole} := \max \left( 1, 0.65 \cdot \frac{a_3}{a_4} \right) \quad s_{end} := \frac{2.7}{\cosh \left( \frac{a_3}{a_4} - 1.4 \right)}$$

$$F_{s,k} := \frac{14 \cdot n_1^{0.9}}{s_{hole}} \cdot t_{ef,i} \cdot (a_3 - 0.5 \cdot d) \cdot f_{t,90,k}$$

$$F_{se,k} := \frac{14 \cdot n_1^{0.9}}{s_{end}} \cdot t_{ef,i} \cdot (a_3 - 0.5 \cdot d) \cdot f_{t,90,k}$$

$$k_v := 0.7 \quad \text{Kerto-S ja Kerto-Q syrjällään}$$

$$k_v := 1 \quad \text{Kerto-Q lappeellaan}$$

$$F_{v,k} := k_v \cdot n_1^{-0.1} \cdot A_{v,ep} \cdot f_{v,k}$$

$$F_{t,k} := 1.7 \cdot n_1^{-0.1} \cdot k_{t,ep} \cdot A_{t,ep} \cdot f_{t,0,k}$$

$$F_{tv,k} := \begin{cases} F_{t,k} \left( 1 - 0.3 \cdot \frac{F_{t,k}}{F_{v,k}} \right) & \text{if } F_{t,k} \leq F_{v,k} \\ F_{v,k} \left( 1 - 0.3 \cdot \frac{F_{v,k}}{F_{t,k}} \right) & \text{if } F_{v,k} < F_{t,k} \end{cases}$$



$$F_{sv.k} := \begin{cases} F_{s.k} \left( 1 - 0.3 \cdot \frac{F_{s.k}}{F_{v.k}} \right) & \text{if } F_{s.k} \leq F_{v.k} \\ F_{v.k} \left( 1 - 0.3 \cdot \frac{F_{v.k}}{F_{s.k}} \right) & \text{if } F_{v.k} < F_{s.k} \end{cases}$$

$$F_{ep.Rk} := \min(A_{h.ep} \cdot f_{h.0.k}, F_{tv.k}, F_{sv.k}, F_{se.k}) \quad (\text{vedetyt liitokset})$$

$$F_{ep.Rk} := \min(A_{h.ep} \cdot f_{h.0.k}, F_{cv.k}) \quad (\text{puristetut liitokset})$$

## Puusauvan *i* puustamurtokestävyys

$$F_{i.0.Rk} := F_{ip.Rk} + F_{ep.Rk}$$

Reunapuiden (jos useampi kuin yksi) puustamurtokestävyys lasketaan yhteen. Keskipuu vertaillaan omaa syysuuntaista kuormaansa vastaan.

## Hetkellinen siirtymä

$$u_{inst} := \frac{F_k}{k \cdot n \cdot K_{ser}}$$

$F_k$  on käyttökuorma  
 $k$  on leikkeiden määrä liitoksessa (1 tai 2)  
 $n$  on liittimien määrä liitoksessa  
 $K_{ser}$  on liittintyyppin siirtymäkerroin

## Hetkellinen kiertymä

Liitoksen hetkellinen kiertymäjäykkyys

$$K_{r.ser} := K_{ser} \cdot I_p \text{ [Nm/rad]}$$

Liitoksen hetkellinen kiertymä

$$\varphi_{inst} := \frac{M \cdot p}{k \cdot K_{r.ser}} \quad (\text{tulokseen astemuunnos radiaaneista})$$

## Naulat

### Testitapaukset

1. Naulan geometriset rajoitukset otetaan huomioon
  - a. Halkaisija:  $1,9 \text{ mm} \leq d \leq 8,0 \text{ mm}$
  - b. Kärjen pituus:  $0,5d \leq l_p \leq 2,5d$
  - c. Kannan halkaisija:  $d_h \geq \sqrt{2,5d}$
  - d. Profiloidun osan pituus:  $l_{pr} \geq 4,5d$
2. Osien paksuudet  $t_i$  ja kärjenpuoleinen tunkeuma määritetään oikein
  - a. Sileiden neulojen kärjenpuoleinen tunkeuma 2 vähintään  $8d$ , muilla nauloilla vähintään  $6d$
  - b. Profiloidun naulan tunkeuman laskennassa huomioidaan vain naulan profiloitu pituus
  - c. Yksileikkeiset tapaukset
  - d. Kaksileikkeiset tapaukset
3. Esiporaus ehdot toteutettu oikein
  - a. Halkaisija  $d > 6 \text{ mm}$
  - b. Osien paksuudet  $t_i$  alle raja-arvojen
  - c. Puun tiheys  $\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3$
4. Myötömomentti lasketaan oikein
  - a. Sileä pyöreä naulat
  - b. Nelikulmainen naula/uranaula
  - c. Profiloitu naula
5. Reunapuristuslujuudet
  - a. Esiporaus
  - b. Ei esiporaus
6. Ulosvetokestävyys määritetään oikein
  - a.  $t_{pen} \geq 12d$
  - b.  $t_{pen} < 12d$
  - c.  $t_{pen} < 8d$
  - d. Käyttöluokkien 1-3 vaikutus huomioidaan
  - e. Sileä naula/muut kuin sileät naulat
  - f. Profiloidun naulan  $f_{ax,k} \geq 4,5 \text{ N/mm}^2$
7. Leikkaustasojen kestävyys
  - a. Yksileikkeiset liitokset
  - b. Kaksileikkeiset liitokset
  - c. Köysivaikutustermi
8. Liitossiirtymä
  - a.  $K_{ser}$
9. Syrjäliitokset
  - a. Esiporaus ehdot toteutettu oikein
  - b. Ulosvetolujuuden ominaisarvot
10. Kerto-Q
  - a. Esiporaus ehdot toteutettu oikein

## Ruuvit

### Testitapaukset

1. Ruuvien tehollinen halkaisija määritetään oikein
  - a. Kansiruuvi
  - b. Yleisruuvi
2. Puuosien syysuunnan ja kuormitus suunnan välinen kulma huomioidaan
  - a. Reunapuristuslujuus
3. Osien paksuudet  $t_i$  ja kärjenpuoleinen tunkeuma määritetään oikein
  - a. 1-leikkeinen liitos, ruuvi puuosien läpi
  - b. 1-leikkeinen liitos, ruuvi kärki puuosassa 2
  - c. 2-leikkeinen liitos, ruuvi puuosien läpi
  - d. 2-leikkeinen liitos, ruuvi kärki puuosassa 3
  - e.  $t_2$  lasketaan oikein (myös sileä osa varresta huomioidaan)
  - f.  $t_{pen}$  lasketaan oikein (vain kierteellinen osa varresta huomioidaan)
4. Esiporaus ehdot toteutettu oikein
  - a.  $d \leq 6 \text{ mm}$
  - b.  $d > 6 \text{ mm}$
  - c. Osien paksuudet  $t_i$  alle raja-arvojen
  - d.  $\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3$
5. Myötömomentti lasketaan oikein
  - a. Kansiruuvi
  - b. Yleisruuvi
6. Reunapuristuslujuudet
  - a. Ei esiporaus
  - b. Esiporatut ruuvit
  - c.  $d_{ef} \geq 6 \text{ mm}$
7. Ulosvetokestävyys
  - a. Ulosvetolujuus, kun voidaan käyttää EC5 kaavaa (8.38)
  - b. Ulosvetolujuus, kun voidaan käyttää EC5 kaavaa (8.40a)
  - c. Läpivetolujuus
  - d. Vetolujuus
  - e.  $F_{ax,Rk}$
  - f. Tunkeuma on tarpeeksi suuri
8. Leikkaustasojen kestävyys
  - a. Yksileikkeiset liitokset
  - b. Kaksileikkeiset liitokset
  - c. Köysivaikutustermi
9. Liitossiirtymä
  - a.  $K_{ser}$
10. Syrjäliitokset
  - a. Esiporaus ehdot oikein
  - b. Reunapuristuslujuudet

11. Kerto-Q
  - a. Esiporausohdot toteutettu oikein
  - b. Reunapuristuslujuudet

## Pultit

### Testitapaukset

1. Pultin tehollinen halkaisija määritetään oikein
2. Dimensiot
  - a. Pultti
  - b. Aluslaatta
3. Osien paksuudet  $t_i$  ja sileän osan kärjenpuoleinen tunkeuma määritetään oikein
  - a.  $t_1$
  - b.  $t_2$
  - c.  $t_s$
4. Myötömomentti oikein
5. Reunapuristuslujuudet
  - a. Puuosan syysuunnan ja kuorman välisen kulman vaihtelu huomioidaan
  - b. Liittimen halkaisijan vaikutus
6. Ulosvetokestävyys
  - a. Pultin vetokestävyys
  - b. Aluslaatan leimapainekestävyys
7. Leikkauskestävyys
  - a. Yksileikkeiset liitokset
  - b. Kaksileikkeiset liitokset
  - c. Köysivaikutus
8. Liitossiirtymä
  - a.  $K_{ser}$

## Tappivaarnat

### Testitapaukset

1. Dimensiot ja tunkeumat
  - a. Liittimen pituus
  - b.  $t_1$
  - c.  $t_2$
2. Myötömomentti
3. Reunapuristuslujuudet
  - a. Puuosien syysuunnan ja kuormituksen välisen kulman vaihtelu
  - b. Liittimen halkaisijan vaikutus
4. Ulosvetokestävyys
  - a. Aina nolla
5. Köysivaikutus
  - a. Aina nolla
6. Leikkauskestävyys
  - a. Yksileikkeiset liitokset
  - b. Kaksileikkeiset liitokset
7. Liitossiirtymä
  - a.  $K_{ser}$
8. Syrjäliitokset
  - a. Reunapuristuslujuudet
9. Kerto-Q
  - a. Reunapuristuslujuudet

## Puuosien välinen leikkausliitos

### Testitapaukset

1. Liittimien reunaetäisyydet ja liitinvälit
  - a. Puuosien välinen kulma  $0^{\circ}$
  - b. Puuosien välinen kulma  $45^{\circ}$
  - c. Puuosien välinen kulma  $90^{\circ}$
2. Liitoksen kestävyys
  - a. Liittimen kapasiteetti
  - b. Puhdas leikkausliitos
  - c. Momenttiliitokset (sisäinen liitosmomentti ja ulkoinen momenttirasitus erikseen ja yhdessä)
    - i. Momentin jakautuminen yksittäisille liittimille
    - ii. Vaikutus paksujen liittimien reunapuristuslujuuteen
  - d. Halkeamismurto
  - e. Lohkeamismurto
  - f. Hetkellinen liitossiirtymä
  - g. Liitoksen kiertymäjäykkyys

## **Naulan kapasiteetin tarkastus**

### **Puuosat**

Kerto-S

$$b_1 := 45\text{mm} \quad b_2 := 27\text{mm}$$

$$\rho_k := 480 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Käyttöluokka} := 1$$

### **Naulat**

#### **Geometria**

$$\text{Pituus} \quad l := 110\text{mm}$$

$$\text{Kärjen pituus} \quad l_p := 5\text{mm}$$

$$\text{Halkaisija} \quad d := 3.1\text{mm}$$

$$\text{Kannan halkaisija} \quad d_h := 6.2\text{mm}$$

$$\text{Profiloidun osan pituus} \quad l_{pr} := 45\text{mm}$$

$$\text{Profiloitu} := \begin{cases} \text{"Kyllä"} & \text{if } l_{pr} \geq 4.5d \\ \text{"Ei"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"Kyllä"}$$

#### **Kärjenpuoleinen tunkeuma**

##### **Poikittaistarkasteluissa**

Yksileikkeinen naula

$$t_{pen} := \min(b_2, l - b_1) = 27\text{mm}$$

Kaksileikkeinen naula

$$t_{pen} := \min(b_1, l - b_1 - b_2) = 38\text{mm}$$

Rajaehdot

$$\text{Tunkeuma} := \begin{cases} \text{"Liian pieni"} & \text{if } t_{pen} < 6d \\ \text{"OK, profiloitu naula"} & \text{if } t_{pen} < 8d \wedge t_{pen} \geq 6d \\ \text{"OK"} & \text{if } t_{pen} \geq 8d \end{cases}$$

$$\text{Tunkeuma} = \text{"OK"}$$

#### **Lujuusominaisuudet**

$$f_u := 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



## Esiporaus

$$t_1 := \max \left[ 7 \cdot d, \left( 13 \frac{d}{\text{mm}} - 30 \right) \cdot \frac{\rho_k}{400} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot \text{mm} \right] = 21.7 \cdot \text{mm}$$

$$t_2 := \max \left[ 7 \cdot d, \left( 13 \frac{d}{\text{mm}} - 30 \right) \cdot \frac{\rho_k}{400} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot \text{mm} \right] = 21.7 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Esiporaus} := \begin{cases} \text{"Kyllä"} & \text{if } (b_1 < t_1) \vee (b_2 < t_1) \vee (d > 6\text{mm}) \vee \left( \rho_k > 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \\ \text{"Ei"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Esiporaus = "Ei"

Esiporaus := "Kyllä" (Jos esiporaus valitaan)

## Myötömomentti

$$M_{y,Rk} := 0.3 \cdot f_u \cdot \left( \frac{d}{\text{mm}} \right)^{2.6} \cdot \text{mm}^3 = \text{N} \cdot \text{mm} \quad \text{Sileä pyöreä naula}$$

$$M_{y,Rk} := 0.45 \cdot f_u \cdot \left( \frac{d}{\text{mm}} \right)^{2.6} \cdot \text{mm}^3 = \text{N} \cdot \text{mm} \quad \text{Sileä nelikulmainen naula/uranaula}$$

$$M_{y,Rk} := 4000 \text{N} \cdot \text{mm} \quad \text{Profiloitu naula}$$

## Reunapuristuslujuudet

Esiporaus = "Ei"

$$f_{h,k} := \begin{cases} 0.082 \cdot \rho_k \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot \left( \frac{d}{\text{mm}} \right)^{-0.3} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Esiporaus = "Ei"} \\ 0.082 \cdot \left( 1 - 0.01 \cdot \frac{d}{\text{mm}} \right) \cdot \rho_k \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if Esiporaus = "Kyllä"} \end{cases} = 28.032 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{h.1,k} := f_{h,k} = 28.032 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{h.2,k} := f_{h,k} = 28.032 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

## Aksiaalinen kestävyys

### Ulosvetolujuuden tunkeuma

#### Sileät naulat

$$t_{\text{pen.a}} := t_{\text{pen}} - l_p = 33 \cdot \text{mm}$$

#### Profiloidut naulat

Naulan sileä osa

$$l_s := l - l_{\text{pr}} - l_p = 60 \cdot \text{mm}$$

Yksileikkeinen liitos:

- 1) Koko puuosan 2 osa profiloitu
- 2) Vain osa puuosasta 2 profiloitu

$$t_{\text{pen.a}} := \begin{cases} \min(b_2, l - b_1 - l_p) & \text{if } l_s \leq b_1 \\ \min[1 - l_s - l_p, l - l_s - [1 - (b_1 + b_2)]] & \text{otherwise} \end{cases} = 1 \cdot \text{mm}$$

Kaksileikkeinen liitos:

- Koko puuosan 2 osa profiloitu
- Vain osa puuosasta 2 profiloitu

$$t_{\text{pen.a}} := \begin{cases} \min[b_1, l - (b_1 + b_2) - l_p] & \text{if } l_s \leq (b_1 + b_2) \\ \min[1 - l_s - l_p, l - l_s - [1 - (2 \cdot b_1 + b_2)]] & \text{otherwise} \end{cases} = 33 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Tunkeuma} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } t_{\text{pen.a}} \geq 8 \cdot d \\ \text{"Profiloitu naula"} & \text{if } t_{\text{pen.a}} < 8d \wedge t_{\text{pen.a}} \geq 6d \vee \text{Profiloitu} = \text{"Kyllä"} \\ \text{"Ei ulosvetokestävyttä"} & \text{if } t_{\text{pen.a}} < 6d \end{cases}$$

Tunkeuma = "Profiloitu naula"

#### Ulosvetolujuuden ominaisarvo

$$f_{\text{ax.k.0}} := \begin{cases} 20 \cdot 10^{-6} \cdot \left( \rho_k \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)^2 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if } \text{Tunkeuma} = \text{"OK"} = 4.5 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ 0 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if } \text{Tunkeuma} = \text{"Ei ulosvetokestävyttä"} \\ 4.5 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$f_{\text{ax.k}} := \begin{cases} \frac{2}{3} \cdot f_{\text{ax.k.0}} & \text{if } \text{Käyttöluokka} = 3 = 4.5 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ f_{\text{ax.k.0}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

#### Läpivetolujuuden ominaisarvo

$$f_{\text{head.k.0}} := \begin{cases} 70 \cdot 10^{-6} \cdot \left( \rho_k \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)^2 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if } \text{Tunkeuma} = \text{"OK"} = 10 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ 0 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if } \text{Tunkeuma} = \text{"Ei ulosvetokestävyttä"} \\ 10 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$f_{\text{head.k}} := \begin{cases} \frac{2}{3} \cdot f_{\text{head.k.0}} & \text{if } \text{Käyttöluokka} = 3 = 10 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ f_{\text{head.k.0}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

### Ulosvetokestävyys

$$t := b_1 = 45 \cdot \text{mm}$$

$$F_{ax.Rk.0} := \begin{cases} \min(f_{ax.k} \cdot d \cdot t_{pen.a}, f_{head.k} \cdot d_h^2) & \text{if Profiloitu} = \text{"Kyllä"} \\ \min(f_{ax.k} \cdot d \cdot t_{pen.a}, f_{ax.k} \cdot d \cdot t + f_{head.k} \cdot d_h^2) & \text{otherwise} \end{cases} = 384.4 \text{ N}$$

$$F_{ax.Rk} := \begin{cases} \left( \frac{t_{pen.a}}{4 \cdot d} - 2 \right) \cdot F_{ax.Rk.0} & \text{if } t_{pen.a} < 12d \wedge \text{Profiloitu} = \text{"Ei"} \\ \left( \frac{t_{pen.a}}{2d} - 3 \right) \cdot F_{ax.Rk.0} & \text{if } t_{pen.a} < 8d \\ F_{ax.Rk.0} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$F_{ax.Rk} = 384.4 \text{ N}$$

### Puuosien välisen naulaliitoksen kapasiteetti

$$\beta := \frac{f_{h.2.k}}{f_{h.1.k}} = 1$$

#### Yksileikkeiset liitokset

$$t_1 := b_1 = 45 \cdot \text{mm}$$

$$t_2 := t_{pen} = 38 \cdot \text{mm}$$

Puikkoliitosteorian mukaiset kestävyudet

$$F_{v.Rk.a} := f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d = 3910.396 \cdot \text{N}$$

$$F_{v.Rk.b} := f_{h.2.k} \cdot t_2 \cdot d = 3302.113 \cdot \text{N}$$

$$F_{v.Rk.c.puikko} := \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right)} + \beta^3 \cdot \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \cdot \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] = 1.503 \cdot \text{kN}$$

$$F_{v.Rk.d.puikko} := 1.05 \cdot \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y.Rk}}{f_{h.1.k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] = 1.46 \cdot \text{kN}$$

$$F_{v.Rk.e.puikko} := 1.05 \cdot \frac{f_{h.1.k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2 \cdot \beta} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y.Rk}}{f_{h.1.k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] = 1.264 \cdot \text{kN}$$

$$F_{v.Rk.f.puikko} := 1.15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y.Rk} \cdot f_{h.1.k} \cdot d} = 0.959 \cdot \text{kN}$$

### Köysivaikutuksesta tuleva osuus

Köysitermin rajoitus:

Pyöreät sileät naulat 0.15

Nelikulmaiset sileät naulat/uranaulat: 0.25

Profiloidut naulat: 0.5

$$Köysi := \min\left(\frac{F_{ax.Rk}}{4}, 0.5 \cdot F_{v.Rk.c.puikko}, 0.5 \cdot F_{v.Rk.d.puikko}, 0.5 \cdot F_{v.Rk.e.puikko}, 0.5 \cdot F_{v.Rk.f.puikko}\right)$$

$$Köysi = 96.1 \text{ N}$$

### Yhdistetty kestävyys

$$F_{v.Rk.c} := F_{v.Rk.c.puikko} + Köysi = 1598.92 \cdot \text{N}$$

$$F_{v.Rk.d} := F_{v.Rk.d.puikko} + Köysi = 1556.533 \cdot \text{N}$$

$$F_{v.Rk.e} := F_{v.Rk.e.puikko} + Köysi = 1359.843 \cdot \text{N}$$

$$F_{v.Rk.f} := F_{v.Rk.f.puikko} + Köysi = 1054.942 \cdot \text{N}$$

### Liittimen ominaiskestävyys

$$F_{v.Rk} := \min(F_{v.Rk.a}, F_{v.Rk.b}, F_{v.Rk.c}, F_{v.Rk.d}, F_{v.Rk.e}, F_{v.Rk.f}) = 1 \cdot \text{N}$$

### Kaksileikkeiset liitokset

$$t_1 := t_{\text{pen}} = 38 \cdot \text{mm}$$

$$t_2 := b_2 = 27 \cdot \text{mm}$$

### Puikkoliitosteorian mukaiset kestävyudet

$$F_{v.Rk.g} := f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d = 3302.113 \cdot \text{N}$$

$$F_{v.Rk.h} := 0.5 \cdot f_{h.2.k} \cdot t_2 \cdot d = 1173.119 \cdot \text{N}$$

$$F_{v.Rk.j.puikko} := 1.05 \cdot \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y.Rk}}{f_{h.1.k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] = 1.264 \cdot \text{kN}$$

$$F_{v.Rk.k.puikko} := 1.15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y.Rk} \cdot f_{h.1.k} \cdot d} = 0.959 \cdot \text{kN}$$

### Köysivaikutuksesta tuleva osuus

Köysitermin rajoitus:

Pyöreät sileät naulat 0.15

Nelikulmaiset sileät naulat/uranaulat: 0.25

Profiloidut naulat: 0.5

$$Köysi := \min\left(\frac{F_{ax.Rk}}{4}, 0.5 \cdot F_{v.Rk.j.puikko}, 0.5 \cdot F_{v.Rk.k.puikko}\right) = 96.1 \text{ N}$$

### Yhdistetyt kestävyudet

$$F_{v.Rk.j} := F_{v.Rk.j.puikko} + Köysi = 1359.843 \cdot \text{N}$$

$$F_{v.Rk.k} := F_{v.Rk.k.puikko} + Köysi = 1054.942 \cdot \text{N}$$

### Liittimen ominaiskestävyys

$$F_{v.Rk} := 2 \cdot \min(F_{v.Rk.g}, F_{v.Rk.h}, F_{v.Rk.j}, F_{v.Rk.k}) = 2109.884 \cdot N$$

### **Liittimen mitoituskestävyys**

$$k_{mod} := 0.8 \quad \gamma_M := 1.2$$

$$F_{v.Rd} := k_{mod} \cdot \frac{F_{v.Rk}}{\gamma_M} = 1406.589 \cdot N$$

### **Liitossiirtymä**

$$\rho_m := 510 \frac{kg}{m^3}$$

$$K_{ser} := \left| \begin{array}{l} \frac{\left( \rho_m \cdot \frac{m^3}{kg} \right)^{1.5} \cdot \left( \frac{d}{mm} \right)^{0.8}}{30} \cdot \frac{N}{mm} \text{ if Esiporaus = "Ei"} = 949.125 \cdot \frac{N}{mm} \\ \frac{\left( \rho_m \cdot \frac{m^3}{kg} \right)^{1.5} \cdot \frac{d}{mm}}{23} \cdot \frac{N}{mm} \text{ otherwise} \end{array} \right.$$

**Liite D2. Naulan kapasiteetin mitoituksen tuloste****PERUSTIEDOT:**

Rakennuskohde:	Rakennuskohde
Suunnittelija:	Suunnittelija
Yritys:	Yritys
Rakenneosan tunnus:	Rakenneosan tunnus
Lisätiedot:	Lisätiedot

**RAKENNE JA KUORMITUS:**

Puuosa 1:	Kerto-S lapeliitos (mol. puolin) (45.0 mm)
Puuosa 2:	Kerto-S lapeliitos (27.0 mm)
Aikaluokka ja käyttöluokka:	Keskipitkä, Käyttöluokka 1
Kmod:	0.80
Osavarmuuskerroin:	1.20

**LIITOKSEN TIEDOT:**

Naula:	Naula, profiloitu
Koko naulan pituus:	110 mm
Kärjen pituus:	5.0 mm
Profiloidun osan pituus:	0 mm
Halkaisija/paksuus d:	3.1 mm
Kannan halkaisija:	6.20 mm
Vetolujuus fu:	600.00 N/mm <sup>2</sup>
Esiporaus:	Ei esiporausta
t1:	45 mm
t2:	27 mm
tpen:	33.0 mm (=10.6d)
Reunapuristuslujuus fh,k,1:	28.0 Nmm
Reunapuristuslujuus fh,k,2:	28.0 N/mm <sup>2</sup>
Myötömomentti My,k:	4000 Nmm
Ulosvetolujuus fax,k:	4.500 N/mm <sup>2</sup>
Läpivetolujuus fhead,k:	10.000 N/mm <sup>2</sup>
Fax,Rk:	384.40 N/liitin
Köysivaikutustermi:	96.10 N/leike
Kser:	949 N/mm

**Kaksileikkeinen liitos**

Fv,Rk (g):	3302 N/leike
Fv,Rk (h):	1173 N/leike
Fv,Rk (j):	1360 N/leike
Fv,Rk (k):	1055 N/leike

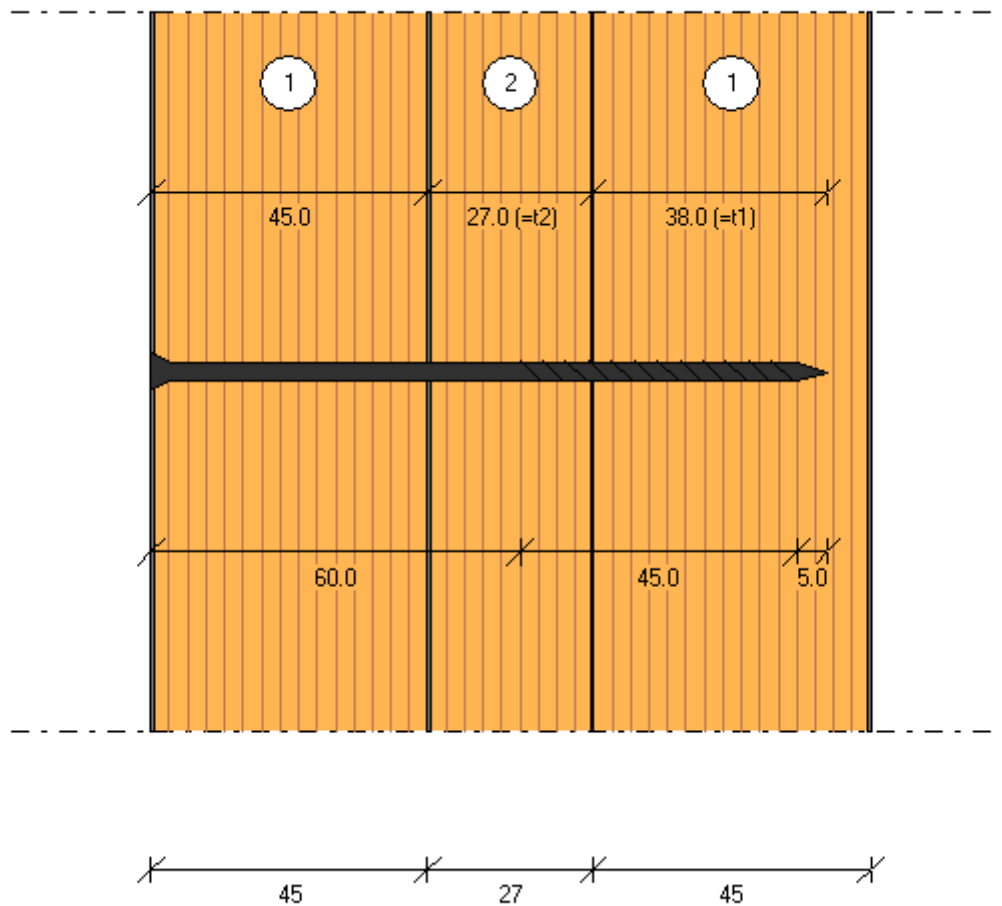
**Liittimen kapasiteetti, minimivälit ja -etäisyydet**

Fv,Rk:	2110 N/liitin
Fv,Rd:	1407 N/liitin

Puuosa 1, minimivälit ja -etäisyydet:	alfa=0.0, a1=31.0, a2=15.5, a3t=46.5, a3c=31.0, a4t=15.5, a4c=15.5
Puuosa 2, minimivälit ja -etäisyydet:	alfa=0.0, a1=31.0, a2=15.5, a3t=46.5, a3c=31.0, a4t=15.5, a4c=15.5

25.9.2014

## LEIKKAUSKUVA



## Ruuvin kapasiteetin tarkastus

### Puuosat

Kerto-S

$$b_1 := 45\text{mm} \quad b_2 := 75\text{mm}$$

$$\rho_k := 480 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Käyttöluokka} := 1$$

$$\text{Puuosan 1 syysuunnan ja kuormituksen suunnan välinen kulma} \quad \alpha_1 := 0\text{deg}$$

$$\text{Puuosan 2 syysuunnan ja kuormituksen suunnan välinen kulma} \quad \alpha_2 := 45\text{deg}$$

$$\text{Ruuvin akselin puun syysuunnan välinen kulma} \quad \alpha := 90\text{deg}$$

### Ruuvi

#### Geometria

$$\text{Pituus} \quad l := 110\text{mm}$$

$$\text{Kierteisen osan pituus} \quad l_g := 90\text{mm}$$

$$\text{Sileän osan halkaisija} \quad d_s := 8\text{mm}$$

$$\text{Kierteellisen osan ulkohalkaisija} \quad d := 10\text{mm}$$

$$\text{Kierteellisen osan sisähalkaisija} \quad d_1 := 8\text{mm}$$

$$\text{Kannan halkaisija} \quad d_h := 16\text{mm}$$

#### Tunkeuma

Sileän varren tunkeuma

$$t_{\text{pen.s}} := \min[b_2, (l - l_g) - b_1] = -25\text{mm} \quad (\text{Yksileikkeinen liitos})$$

$$t_{\text{pen.s}} := \min[b_1, (l - l_g) - (b_1 + b_2)] = 0\text{mm} \quad (\text{Kaksileikkeinen liitos})$$

Kierteellisen osan tunkeuma

$$t_{\text{pen.g}} := \begin{cases} 0 & \text{if } (t_{\text{pen.s}} + b_1) \geq b_1 + b_2 \\ \min(b_2, l - b_1) & \text{if } (t_{\text{pen.s}} + b_1) \leq b_1 \\ \min[l_g, l_g - [l - (b_1 + b_2)]] & \text{otherwise} \end{cases} = 65\text{mm} \quad (\text{Yksileikkeinen liitos})$$

$$t_{\text{pen.g}} := \begin{cases} 0 & \text{if } t_{\text{pen.s}} \geq b_1 \\ \min[b_1, l - (b_1 + b_2)] & \text{if } t_{\text{pen.s}} \leq 0 \\ \min[l_g, b_1 - t_{\text{pen.s}}] & \text{if } t_{\text{pen.s}} > 0 \wedge t_{\text{pen.s}} < b_1 \end{cases} = 0\text{mm} \quad (\text{Kaksileikkeinen liitos})$$

$$t_{\text{pen.g}} = 65\text{mm}$$



### Tehollinen halkaisija

$$d_{ef} := \begin{cases} d_s & \text{if } d = d_s \wedge t_{pen.s} \geq 4d \\ 1.1 \cdot d_1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$d_{ef} = 8.8 \cdot \text{mm}$$

### Lujuusominaisuudet

$$f_{u.k} := 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Esiporaus

$$t_1 := \max \left[ 7 \cdot d_{ef}, \left( 13 \cdot \frac{d_{ef}}{\text{mm}} - 30 \right) \cdot \frac{\rho_k}{400} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot \text{mm} \right] = 101.28 \cdot \text{mm}$$

$$t_2 := \max \left[ 14 d_{ef}, \left( 13 \cdot \frac{d_{ef}}{\text{mm}} - 30 \right) \cdot \frac{\rho_k}{200} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot \text{mm} \right] = 202.56 \cdot \text{mm}$$

$$\text{Esiporaus} := \begin{cases} \text{"Kyllä"} & \text{if } d_{ef} > 6\text{mm} \vee b_1 < t_1 \vee b_2 < t_1 \vee \rho_k > 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ \text{"Ei"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{Lapeliitokset}$$

$$\text{Esiporaus} := \begin{cases} \text{"Kyllä"} & \text{if } d_{ef} > 6\text{mm} \vee b_1 < t_1 \vee b_2 < t_2 \vee \rho_k > 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ \text{"Ei"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{Syrjäliitokset}$$

$$\text{Esiporaus} = \text{"Kyllä"}$$

### Myötömomentti

$$M_{y.Rk} := 0.3 \cdot f_{u.k} \cdot \left( \frac{d_{ef}}{\text{mm}} \right)^{2.6} \cdot \text{mm}^3 = 51395.78 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{y.Rk} := 12000 \text{N} \cdot \text{mm}$$

### Reunapuristuslujuudet

$$\text{Esiporaus} = \text{"Kyllä"}$$

$$f_{h.0.k} := \begin{cases} 0.082 \cdot \rho_k \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot \left( \frac{d_{ef}}{\text{mm}} \right)^{-0.3} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if } \text{Esiporaus} = \text{"Ei"} \\ 0.082 \cdot \left( 1 - 0.01 \cdot \frac{d_{ef}}{\text{mm}} \right) \cdot \rho_k \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if } \text{Esiporaus} = \text{"Kyllä"} \end{cases} = 35.896 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$k_{90} := 1.3 + 0.015 \cdot \frac{d_{ef}}{\text{mm}} = 1.432$$

$$f_{h.1.k} := \begin{cases} f_{h.0.k} & \text{if } d_{ef} \leq 6\text{mm} \\ \frac{f_{h.0.k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha_1)^2 + \cos(\alpha_1)^2} & \text{otherwise} \end{cases} = 35.896 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{h.2.k} := \begin{cases} f_{h.0.k} & \text{if } d_{ef} \leq 6\text{mm} \\ \frac{f_{h.0.k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha_2)^2 + \cos(\alpha_2)^2} & \text{otherwise} \end{cases} = 29.52 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Ruuvin aksiaalinen kestävyys

$$\text{Tunkeuma} := \begin{cases} \text{"OK"} & \text{if } t_{\text{pen.g}} \geq 6 \cdot d \\ \text{"Ei ulosvetolujuuutta"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Tunkeuma = "OK"

### Ulosvetokestävyys

Voidaanko käyttää laskennallisia kaavoja?

$$\text{Kaavat} := \begin{cases} 1 & \text{if } d \geq 6\text{mm} \wedge d \leq 12\text{mm} \wedge \frac{d_1}{d} \geq 0.6 \wedge \frac{d_1}{d} \leq 0.75 \\ 2 & \text{otherwise} \end{cases} = 2$$

$$l_{ef} := t_{\text{pen.g}} = 65 \cdot \text{mm}$$

$$f_{ax.k} := \begin{cases} 0.52 \left( \frac{d}{\text{mm}} \right)^{-0.5} \cdot \left( \frac{l_{ef}}{\text{mm}} \right)^{-0.1} \cdot \left( \rho_k \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)^{0.8} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{if } \text{Kaavat} = 1 \\ 5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} & \text{otherwise} \end{cases} = 5 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$k_d := \min\left(\frac{d}{8\text{mm}}, 1\right) = 1 \quad \rho_{a.a} := 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$F_{ax.k.Rk} := \begin{cases} \frac{f_{ax.k} \cdot d \cdot l_{ef} \cdot k_d}{1.2 \cdot \cos(\alpha)^2 + \sin(\alpha)^2} & \text{if } \text{Kaavat} = 1 \\ \frac{f_{ax.k} \cdot d \cdot l_{ef}}{1.2 \cdot \cos(\alpha)^2 + \sin(\alpha)^2} \cdot \left( \frac{\rho_k}{\rho_{a.a}} \right)^{0.8} & \text{if } \text{Kaavat} = 2 \end{cases} = 4184.291 \text{ N}$$

$$F_{ax.k.Rk} = 4184.291 \cdot \text{N}$$

### Läpivetokestävyys

$$f_{\text{head.k}} := 10 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \rho_{a.h} := 350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$F_{ax.\alpha.Rk} := f_{\text{head.k}} \cdot d_h^2 \cdot \left( \frac{\rho_k}{\rho_{a.h}} \right)^{0.8} = 3295.934 \cdot \text{N}$$

### Vetokestävyys

$$f_{\text{tens.k}} := \frac{\pi \cdot (1.1 \cdot d_1)^2}{4} \cdot f_{\text{u.k}} = 36492.74 \text{ N}$$

$$f_{\text{tens.k}} := 0 \text{ N}$$

$$F_{\text{t.Rk}} := f_{\text{tens.k}} = 36492.74 \text{ N}$$

### Aksiaalinen kestävyys

$$F_{\text{ax.Rk}} := \min(F_{\text{ax.k.Rk}}, F_{\text{ax.}\alpha\text{.Rk}}, F_{\text{t.Rk}}) = 3295.934 \text{ N}$$

### Puuosien välisen ruuviliitoksen kapasiteetti

$$\beta := \frac{f_{\text{h.2.k}}}{f_{\text{h.1.k}}} = 0.822$$

### Yksileikkeiset liitokset

$$t_1 := b_1 = 45 \cdot \text{mm}$$

$$t_2 := \min(b_2, l - b_1) = 65 \cdot \text{mm}$$

Puikkoliitosteorian mukaiset kestävyudet

$$F_{\text{v.Rk.a}} := f_{\text{h.1.k}} \cdot t_1 \cdot d_{\text{ef}} = 14214.943 \cdot \text{N}$$

$$F_{\text{v.Rk.b}} := f_{\text{h.2.k}} \cdot t_2 \cdot d_{\text{ef}} = 16885.44 \cdot \text{N}$$

$$F_{\text{v.Rk.c.puikko}} := \frac{f_{\text{h.1.k}} \cdot t_1 \cdot d_{\text{ef}}}{1 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \cdot \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] = 6.535 \cdot \text{kN}$$

$$F_{\text{v.Rk.d.puikko}} := 1.05 \cdot \frac{f_{\text{h.1.k}} \cdot t_1 \cdot d_{\text{ef}}}{2 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{\text{y.Rk}}}{f_{\text{h.1.k}} \cdot d_{\text{ef}} \cdot t_1^2}} - \beta \right] = 5.883 \cdot \text{kN}$$

$$F_{\text{v.Rk.e.puikko}} := 1.05 \cdot \frac{f_{\text{h.1.k}} \cdot t_2 \cdot d_{\text{ef}}}{1 + 2 \cdot \beta} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{\text{y.Rk}}}{f_{\text{h.1.k}} \cdot d_{\text{ef}} \cdot t_2^2}} - \beta \right] = 6.937 \cdot \text{kN}$$

$$F_{\text{v.Rk.f.puikko}} := 1.15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{\text{y.Rk}} \cdot f_{\text{h.1.k}} \cdot d_{\text{ef}}} = 6.225 \cdot \text{kN}$$

Köysivaikutuksesta tuleva osuus

$$K_{\text{öysi}} := \min\left(\frac{F_{\text{ax.Rk}}}{4}, F_{\text{v.Rk.c.puikko}}, F_{\text{v.Rk.d.puikko}}, F_{\text{v.Rk.e.puikko}}, F_{\text{v.Rk.f.puikko}}\right) = 823.984 \text{ N}$$

Yhdistetyt kestävyys

$$F_{v.Rk.c} := F_{v.Rk.c.puikko} + K\ddot{o}ysi = 7358.776 \cdot N$$

$$F_{v.Rk.d} := F_{v.Rk.d.puikko} + K\ddot{o}ysi = 6706.666 \cdot N$$

$$F_{v.Rk.e} := F_{v.Rk.e.puikko} + K\ddot{o}ysi = 7760.573 \cdot N$$

$$F_{v.Rk.f} := F_{v.Rk.f.puikko} + K\ddot{o}ysi = 7049.466 \cdot N$$

Liittimen ominaiskapasiteetti

$$F_{v.Rk} := \min(F_{v.Rk.a}, F_{v.Rk.b}, F_{v.Rk.c}, F_{v.Rk.d}, F_{v.Rk.e}, F_{v.Rk.f}) = 6706.666 \cdot N$$

**Kaksileikkeiset liitokset**

$$t_1 := \min(b_1, l - b_2 - b_1) = -10 \cdot mm$$

$$t_2 := b_2 = 75 \cdot mm$$

Puikkoliitosteorian mukaiset kestävyys

$$F_{v.Rk.g} := f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d_{ef} = -3.159 \cdot kN$$

$$F_{v.Rk.h} := 0.5 \cdot f_{h.2.k} \cdot t_2 \cdot d_{ef} = 9.742 \cdot kN$$

$$F_{v.Rk.j.puikko} := 1.05 \cdot \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d_{ef}}{2 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y.Rk}}{f_{h.1.k} \cdot d_{ef} \cdot t_1^2}} - \beta \right] = -4.034 \cdot kN$$

$$F_{v.Rk.k.puikko} := 1.15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y.Rk} \cdot f_{h.1.k} \cdot d_{ef}} = 6.225 \cdot kN$$

Köysivaikutuksesta tuleva osuus

$$K\ddot{o}ysi := \min(K\ddot{o}ysi, F_{v.Rk.f.puikko}, F_{v.Rk.k.puikko}) = 823.984 \cdot N$$

Yhdistetyt kestävyys

$$F_{v.Rk.j} := F_{v.Rk.j.puikko} + K\ddot{o}ysi = -3209.706 \cdot N$$

$$F_{v.Rk.k} := F_{v.Rk.k.puikko} + K\ddot{o}ysi = 7049.466 \cdot N$$

Liittimen ominaiskapasiteetti

$$F_{v.Rk} := 2 \min(F_{v.Rk.g}, F_{v.Rk.h}, F_{v.Rk.j}, F_{v.Rk.k}) = \text{■} \cdot N$$

**Liittimen mitoituskestävyys**

$$k_{mod} := 0.6 \quad \gamma_M := 1.2$$

$$F_{v.Rd} := k_{mod} \cdot \frac{F_{v.Rk}}{\gamma_M} = 3353.333 \cdot N$$

### Liitossiirtymä

$$\rho_m := 510 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$K_{\text{ser}} := \frac{\left( \rho_m \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)^{1.5} \cdot \frac{d_{\text{ef}}}{\text{mm}}}{23} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}} = 4406.666 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

**Liite D4. Ruuvien kapasiteetin mitoituksen tuloste****PERUSTIEDOT:**

Rakennuskohde:	Rakennuskohde
Suunnittelija:	Suunnittelija
Yritys:	Yritys
Rakenneosan tunnus:	Rakenneosan tunnus
Lisätiedot:	Lisätiedot

**RAKENNE JA KUORMITUS:**

Puuosa 1:	Kerto-S lapeliitos (45.0 mm)
Puuosa 2:	Kerto-S lapeliitos (75.0 mm)
Aikaluokka ja käyttöluokka:	Pysyvä, Käyttöluokka 1
Kmod:	0.60
Osavarmuuskerroin:	1.20

**LIITOKSEN TIEDOT:**

Ruuvi:	Yleisruuvi
Ruuvien koko pituus:	110 mm
Kierteisen osan pituus:	90 mm
Sileän osan halkaisija:	8.00 mm
Kierteellisen osan ulkohalkaisija:	10.00 mm
Kierteellisen osan sisähalkaisija:	8.00 mm
Kannan halkaisija:	16.00 mm
Vetolujuus fu:	600 N/mm <sup>2</sup>
Esiporaus:	
Esiporataan, kierteisen osan reiän koon tulee olla 0.6-0.75d ja sileän osan reiän vähintään d, mutta korkeintaan d + 1 mm	
Tehollinen halkaisija:	8.8 mm
t1:	45 mm
t2:	65 mm
t <sub>pen</sub> :	65.0 mm (=6.5d)
Reunapuristuslujuus f <sub>h,k,1</sub> :	35.9 N/mm <sup>2</sup>
Reunapuristuslujuus f <sub>h,k,2</sub> :	29.5 N/mm <sup>2</sup>
Myötömomentti M <sub>y,k</sub> :	51396 Nmm
Ulosvetolujuus f <sub>ax,k</sub> :	5.000 N/mm <sup>2</sup>
Läpivetolujuus f <sub>head,k</sub> :	10.000 N/mm <sup>2</sup>
F <sub>ax,Rk</sub> :	3296 N = min(4184, 36493, 3296) N/liitin
Köysivaikutustermi:	824 N/leike
K <sub>ser</sub> :	4407 N/mm

**Yksileikkeinen liitos**

F <sub>v,Rk</sub> (a):	14215 N/leike
F <sub>v,Rk</sub> (b):	16885 N/leike
F <sub>v,Rk</sub> (c):	7359 N/leike
F <sub>v,Rk</sub> (d):	6707 N/leike
F <sub>v,Rk</sub> (e):	7761 N/leike
F <sub>v,Rk</sub> (f):	7049 N/leike

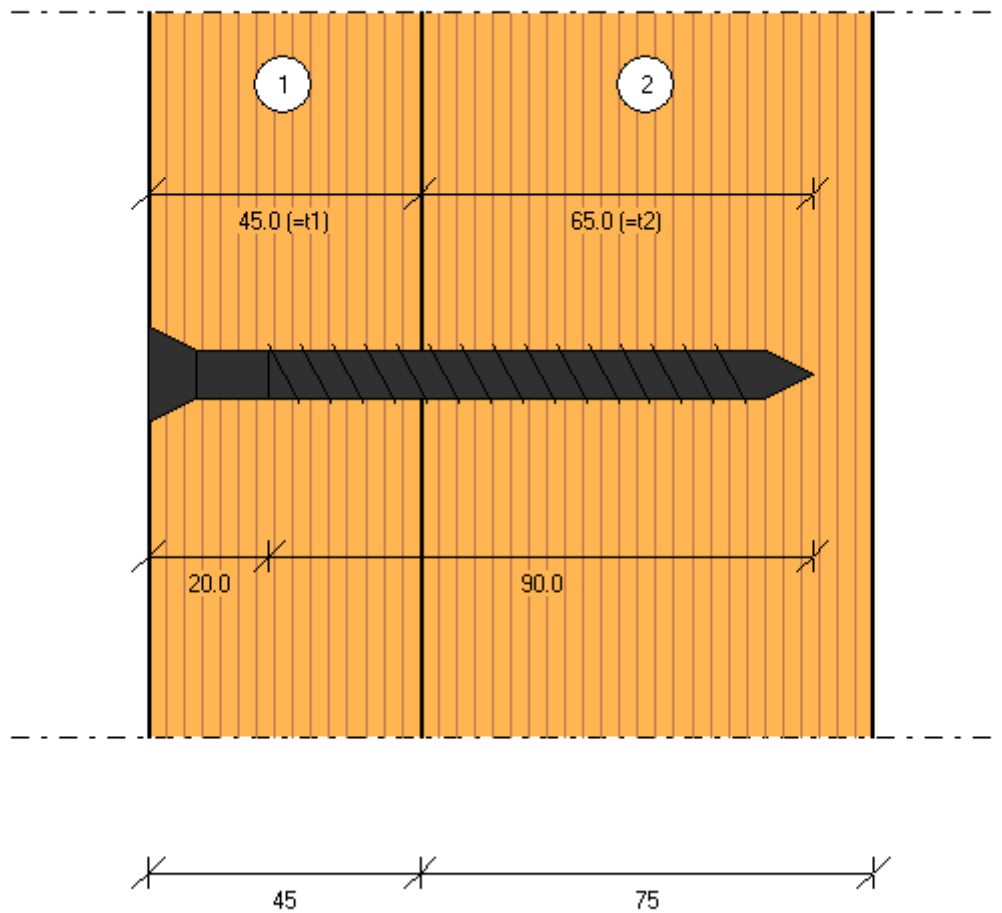
**Liittimen kapasiteetti, minimivälit ja -etäisyydet**

F <sub>v,Rk</sub> :	6707 N/liitin
F <sub>v,Rd</sub> :	3353 N/liitin

Puuosa 1, minimivälit ja -etäisyydet:	alfa=0.0, a1=61.6, a2=35.2, a3t=105.0, a3c=35.2, a4t=26.4, a4c=26.4
Puuosa 2, minimivälit ja -etäisyydet:	alfa=45.0, a1=53.9, a2=35.2, a3t=105.0, a3c=46.1, a4t=30.0, a4c=26.4

25.9.2014

## LEIKKAUSKUVA



## **Pultin kapasiteetin testaus**

### **Puuosat**

Kerto-Q

Kerto-S

$$b_1 := 27\text{mm}$$

$$b_2 := 51\text{mm}$$

$$\rho_k := 480 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$f_{c.90.k.S} := 1.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{c.90.k.Q} := 2.2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Puuosan 1 syysuunnan ja kuormituksen välinen kulma

$$\alpha_1 := 0\text{deg}$$

Puuosan 2 syysuunnan ja kuormituksen välinen kulma

$$\alpha_2 := 30\text{deg}$$

### **Pultti**

#### **Geometria**

Nimellishalkaisija

$$d := 6\text{mm}$$

Kierreosan sisähalkaisija

$$d_1 := 4.92\text{mm}$$

Pituus

$$l := 90\text{mm}$$

Kierteisen osan pituus

$$l_g := 50\text{mm}$$

Aluslaatan paksuus

$$t_w := 1.8\text{mm}$$

Aluslaatan halkaisija

$$d_w := 18\text{mm}$$

Jännityspoikkipinta-ala

$$A_s := 20.1\text{mm}^2$$

#### **Tunkeuma**

Sileän varren tunkeuma

$$t_{\text{pen.s}} := \min(b_2, l - l_g - b_1) = 13 \cdot \text{mm} \quad (\text{Yksileikkeinen liitos})$$

$$t_{\text{pen.s}} := \min(b_1, l - l_g - b_1 - b_2) = 1 \cdot \text{mm} \quad (\text{Kaksileikkeinen liitos})$$

#### **Tehollinen halkaisija**

$$d_{\text{ef}} := \begin{cases} d & \text{if } t_{\text{pen.s}} \geq 4d \\ d_1 & \text{otherwise} \end{cases} = 4.92 \cdot \text{mm}$$

$$d_{\text{ef}} := d = 1 \cdot \text{mm} \quad (\text{Jos kierteinen osa ei ole puuosissa})$$

#### **Lujuusominaisuudet**

$$f_{u.k} := 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

#### **Myötömomentti**

$$M_{y.Rk} := 0.3 \cdot f_{u.k} \cdot \left( \frac{d_{\text{ef}}}{\text{mm}} \right)^{2.6} \cdot \text{mm}^3 = 11333.96 \cdot \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{y.Rk} := 12000 \text{N} \cdot \text{mm}$$



## Reunapuristuslujuudet

### Kerto-S

$$f_{h.0.k} := 0.082 \cdot \left( 1 - 0.01 \cdot \frac{d_{ef}}{\text{mm}} \right) \cdot \rho_k \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 37.423 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$k_{90} := 1.3 + 0.015 \cdot \frac{d_{ef}}{\text{mm}} = 1.374$$

$$f_{h.1.k} := \frac{f_{h.0.k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha_1)^2 + \cos(\alpha_1)^2} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{h.2.k} := \frac{f_{h.0.k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha_2)^2 + \cos(\alpha_2)^2} = 34.225 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Kerto-Q

$$k_Q := 1 \quad \text{Lapeliitoksissa}$$

$$k_Q := \min \left( 1 - \frac{2}{d_{ef}} \cdot \text{mm}, 0.87 \right) = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \text{Syrjälitoksissa}$$

$$f_{h.0.k} := 37 \cdot k_Q \cdot \left( 1 - 0.01 \cdot \frac{d_{ef}}{\text{mm}} \right) = 35.18$$

$$\alpha_1 := \min(\alpha_1, 45\text{deg}) = 0 \cdot \text{deg} \quad \alpha_2 := \min(\alpha_2, 45\text{deg}) = 30 \cdot \text{deg}$$

$$k_{90} := 1.15 + 0.015 \cdot \frac{d_{ef}}{\text{mm}} = 1.224$$

$$f_{h.1.k} := \frac{f_{h.0.k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha_1)^2 + \cos(\alpha_1)^2} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 35.18 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{h.2.k} := \frac{f_{h.0.k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha_2)^2 + \cos(\alpha_2)^2} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{h.1.k} = 35.18 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{h.2.k} = 34.225 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

## Aksiaalinen kestävyys

### Vetokestävyys

$$F_{t.Rk} := 0.9 \cdot A_s \cdot f_{u.k} = 10854 \cdot \text{N}$$

### Aluslaatan leimapainekestävyys

$$A_1 := \frac{\pi}{4} \cdot \left[ (12t_w)^2 - (d + 1\text{mm})^2 \right] = 327.951 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_2 := \frac{\pi}{4} \cdot \left[ (4d)^2 - (d + 1\text{mm})^2 \right] = 413.905 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_w := \min \left[ \frac{\pi}{4} \cdot \left[ d_w^2 - (d + 1\text{mm})^2 \right], A_1, A_2 \right] = 215.984 \cdot \text{mm}^2 \quad \text{Pyöreä aluslaatta}$$

$$A_w := \min \left[ d_w^2 - \frac{\pi}{4} (d + 1\text{mm})^2, A_1, A_2 \right] = \text{mm}^2 \quad \text{Nelikulmainen aluslaatta}$$

$$F_{c.Rk.S} := 3.0 \cdot f_{c.90.k.S} = 5.4 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$F_{c.Rk.Q} := 3.0 \cdot f_{c.90.k.Q} = 6.6 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$F_{c.w.Rk} := \min(F_{c.Rk.S}, F_{c.Rk.Q}) \cdot A_w = 1166.316 \cdot \text{N}$$

$$F_{ax.Rk} := \min(F_{t.Rk}, F_{c.w.Rk}) = 1166.316 \cdot \text{N}$$

### Puuosien välisen pulttiliitoksen kestävyys

$$\beta := \frac{f_{h.2.k}}{f_{h.1.k}} = 0.973$$

$$t_1 := b_1 = 27 \cdot \text{mm}$$

$$t_2 := b_2 = 51 \cdot \text{mm}$$

### Yksileikkeiset liitokset

Puikkoliitosteorian mukaiset kestävyudet

$$F_{v.Rk.a} := f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d_{ef} = 4673.258 \cdot \text{N}$$

$$F_{v.Rk.b} := f_{h.2.k} \cdot t_2 \cdot d_{ef} = 8587.774 \cdot \text{N}$$

$$F_{v.Rk.c.puikko} := \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d_{ef}}{1 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \cdot \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] = 2.959 \cdot \text{kN}$$

$$F_{v.Rk.d.puikko} := 1.05 \cdot \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d_{ef}}{2 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y.Rk}}{f_{h.1.k} \cdot d_{ef} \cdot t_1^2}} - \beta \right] = 2.04 \cdot \text{kN}$$

$$F_{v.Rk.e.puikko} := 1.05 \cdot \frac{f_{h.1.k} \cdot t_2 \cdot d_{ef}}{1 + 2 \cdot \beta} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y.Rk}}{f_{h.1.k} \cdot d_{ef} \cdot t_2^2}} - \beta \right] = 3.25 \cdot \text{kN}$$

$$F_{v.Rk.f.puikko} := 1.15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y.Rk} \cdot f_{h.1.k} \cdot d_{ef}} = 2.262 \cdot \text{kN}$$

Köysivaikutuksesta tuleva osuus

$$Köysi := \min\left(\frac{F_{ax.Rk}}{4}, 0.25 \cdot \min(F_{v.Rk.c.puikko}, F_{v.Rk.d.puikko}, F_{v.Rk.e.puikko}, F_{v.Rk.f.puikko})\right)$$

$$Köysi = 291.579 \text{ N}$$

Yhdistetyt kestävydet

$$F_{v.Rk.c} := F_{v.Rk.c.puikko} + Köysi = 3250.432 \cdot \text{N}$$

$$F_{v.Rk.d} := F_{v.Rk.d.puikko} + Köysi = 2331.217 \text{ N}$$

$$F_{v.Rk.e} := F_{v.Rk.e.puikko} + Köysi = 3541.573 \cdot \text{N}$$

$$F_{v.Rk.f} := F_{v.Rk.f.puikko} + Köysi = 2553.747 \cdot \text{N}$$

Liittimen ominaiskapasiteetti

$$F_{v.Rk} := \min(F_{v.Rk.a}, F_{v.Rk.b}, F_{v.Rk.c}, F_{v.Rk.d}, F_{v.Rk.e}, F_{v.Rk.f}) = 2331.217 \cdot \text{N}$$

**Kaksileikkeiset liitokset**

Puikkoliitosteorian mukaiset kestävydet

$$F_{v.Rk.g} := f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d_{ef} = 4673.258 \cdot \text{N}$$

$$F_{v.Rk.h} := 0.5 \cdot f_{h.2.k} \cdot t_2 \cdot d_{ef} = 4293.887 \cdot \text{N}$$

$$F_{v.Rk.j.puikko} := 1.05 \cdot \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d_{ef}}{2 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y.Rk}}{f_{h.1.k} \cdot d_{ef} \cdot t_1^2}} - \beta \right] = 2039.637 \cdot \text{N}$$

$$F_{v.Rk.k.puikko} := 1.15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y.Rk} \cdot f_{h.1.k} \cdot d_{ef}} = 2262.168 \cdot \text{N}$$

Köysivaikutuksesta tuleva osuus

$$Köysi := \min\left(\frac{F_{ax.Rk}}{4}, 0.25 \cdot F_{v.Rk.j.puikko}, 0.25 \cdot F_{v.Rk.k.puikko}\right) = 291.579 \cdot \text{N}$$

Yhdistetyt kestävydet

$$F_{v.Rk.j} := F_{v.Rk.j.puikko} + Köysi = 2331.217 \cdot \text{N}$$

$$F_{v.Rk.k} := F_{v.Rk.k.puikko} + Köysi = 2553.747 \cdot \text{N}$$

Liittimen ominaiskapasiteetti

$$F_{v.Rk} := 2 \min(F_{v.Rk.g}, F_{v.Rk.h}, F_{v.Rk.j}, F_{v.Rk.k}) = \text{N}$$

**Liittimen mitoituskestävyys**

$$k_{mod} := 0.6 \quad \gamma_M := 1.2$$

$$F_{v.Rd} := k_{mod} \cdot \frac{F_{v.Rk}}{\gamma_M} = 1165.608 \text{ N}$$

### Liitossiirtymä

$$\rho_m := 510 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$K_{\text{ser}} := \frac{\left( \rho_m \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)^{1.5} \cdot \frac{d_{\text{ef}}}{\text{mm}}}{23} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}} = 2463.727 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

**Liite D6. Pultin kapasiteetin mitoituksen tuloste****PERUSTIEDOT:**

Rakennuskohde:	Rakennuskohde
Suunnittelija:	Suunnittelija
Yritys:	Yritys
Rakenneosan tunnus:	Rakenneosan tunnus
Lisätiedot:	Lisätiedot

**RAKENNE JA KUORMITUS:**

Puuosa 1:	Kerto-Q lapeliitos (51.0 mm)
Puuosa 2:	Kerto-S lapeliitos (27.0 mm)
PO1, syyn ja voiman välinen kulma:	0.0
PO2, syyn ja voiman välinen kulma:	30.0
Aikaluokka ja käyttöluokka:	Pysyvä, Käyttöluokka 1
Kmod:	0.60
Osavarmuuseroin:	1.20

**LIITOKSEN TIEDOT:**

Pultti:	M6
Aluslaatan muoto:	Pyöreä
Lujuusluokka:	4.6
Nimellishalkaisija:	6.0 mm
Kierreosan sisähalkaisija:	4.920 mm
Poikkipinta-ala:	20.1 mm <sup>2</sup>
Koko pituus:	90 mm
Kierteisen osan pituus:	50.000 mm
Aluslaatan paksuus:	1.8 mm
Aluslaatan halkaisija/leveys:	18.0 mm
Vetolujuus fu:	600.0 N/mm <sup>2</sup>
Tehollinen halkaisija:	4.9 mm
t1:	27 mm
t2:	51 mm

*Puuhun poratun pulttireiän halkaisija saa olla maksimissaan 1 mm suurempi kuin pultin halkaisija.*

Reunapuristuslujuus fh,k,1:	35.2 N/mm <sup>2</sup>
Reunapuristuslujuus fh,k,2:	34.2 N/mm <sup>2</sup>
Myötömomentti My,k:	11334 Nmm
Pultin vetokestävyys:	10854 N
Aluslaatan leimapainekestävyys:	1166 N
Fax,Rk:	1166 N/liitin
Köysivaikutustermi:	292 N/leike
Kser:	2464 N/mm

**Yksileikkeinen liitos**

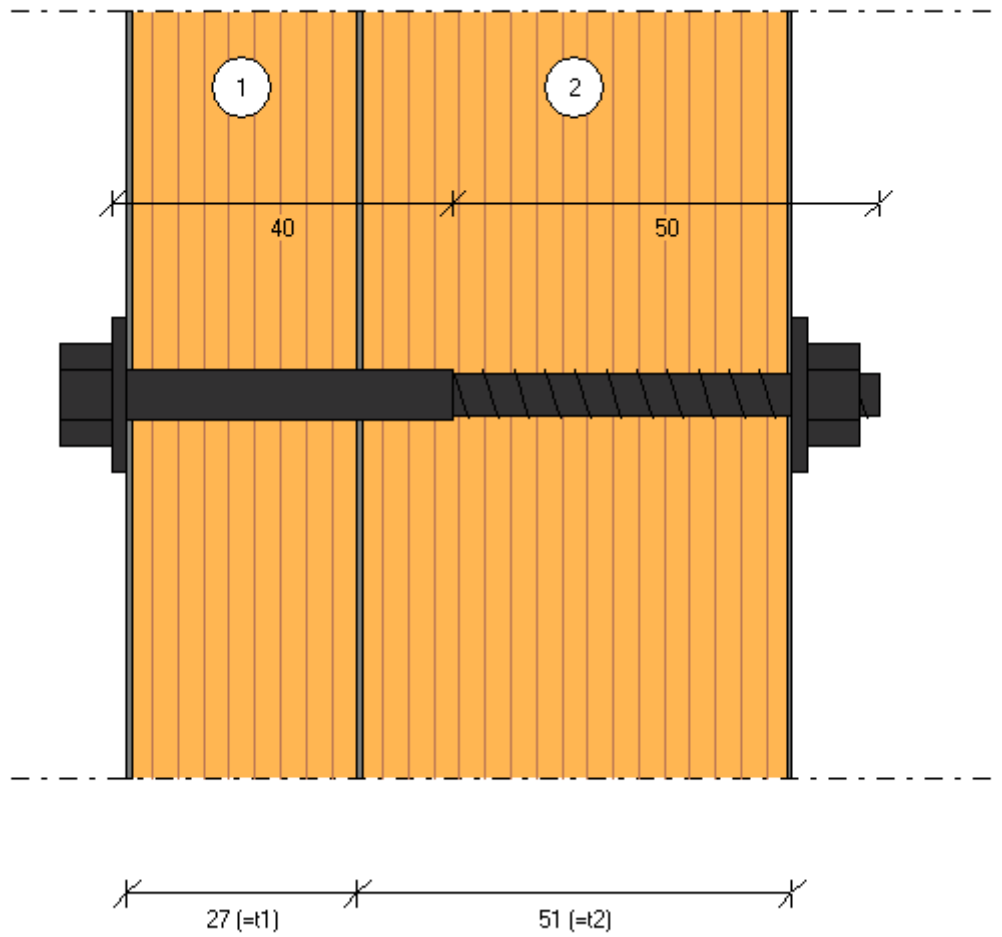
Fv,Rk (a):	4673 N/leike
Fv,Rk (b):	8588 N/leike
Fv,Rk (c):	3250 N/leike
Fv,Rk (d):	2331 N/leike
Fv,Rk (e):	3542 N/leike
Fv,Rk (f):	2554 N/leike

**Liittimen kapasiteetti, minimivälit ja -etäisyydet**

Fv,Rk:	2331 N/liitin
Fv,Rd:	1166 N/liitin

Puuosa 1, minimivälit ja -etäisyydet:	alfa=0.0, a1=19.7, a2=19.7, a3t=60.0, a3c=19.7, a4t=14.8, a4c=14.8
Puuosa 2, minimivälit ja -etäisyydet:	alfa=30.0, a1=32.5, a2=19.7, a3t=105.0, a3c=19.7, a4t=14.8, a4c=14.8

## LEIKKAUSKUVA



## Tappivaarnan kapasiteetin testaus

### Puuosat

Kerto-S

$$b_1 := 51\text{mm} \quad b_2 := 51\text{mm}$$

$$\rho_k := 480 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Puuosan 1 syysuunnan ja kuormituksen välinen kulma

$$\alpha_1 := 0\text{deg}$$

Puuosan 2 syysuunnan ja kuormituksen välinen kulma

$$\alpha_2 := 0\text{deg}$$

### Tappivaarna

#### Geometria

Nimellishalkaisija  $d := 6\text{mm}$

Etäisyys vasemmasta reunasta  $t_v := 10\text{mm}$

Etäisyys oikeasta reunasta  $t_o := 20\text{mm}$

Pituus  $l := b_1 + b_2 - t_v - t_o = 72\text{mm}$  Yksileikkeinen

$$l := 2 \cdot b_1 + b_2 - t_v - t_o = \text{mm} \quad \text{Kaksileikkeinen}$$

#### Tehollinen halkaisija

$$d_{ef} := d = 6\text{mm}$$

#### Lujuusominaisuudet

$$f_{u,k} := 600 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

#### Myötömomentti

$$M_{y,Rk} := 0.3 \cdot f_{u,k} \cdot \left( \frac{d_{ef}}{\text{mm}} \right)^{2.6} \cdot \text{mm}^3 = \text{N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{y,Rk} := 12000 \text{N} \cdot \text{mm}$$

### Reunapuristuslujuudet

#### Kerto-S

$$f_{h,0,k} := 0.082 \cdot \left( 1 - 0.01 \cdot \frac{d_{ef}}{\text{mm}} \right) \cdot \rho_k \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 37.0 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$k_{90} := 1.3 + 0.015 \cdot \frac{d_{ef}}{\text{mm}} = 1.39$$

$$f_{h,1,k} := \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha_1)^2 + \cos(\alpha_1)^2} = 37.0 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{h,2,k} := \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha_2)^2 + \cos(\alpha_2)^2} = 37.0 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Kerto-Q

$$k_Q := 1$$

$$k_Q := \min\left(1 - \frac{2}{d_{ef}} \cdot \text{mm}, 0.87\right) = 0.667$$

$$k_{90} := 1.15 + 0.015 \cdot \frac{d_{ef}}{\text{mm}} = 1.24$$

$$f_{h.0.k} := 37 \cdot k_Q \cdot \left(1 - 0.01 \cdot \frac{d_{ef}}{\text{mm}}\right) \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} = 23.2 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\alpha_1 := \min(\alpha_1, 45\text{deg}) = 0 \quad \alpha_2 := \min(\alpha_2, 45\text{deg}) = 0$$

$$f_{h.1.k} := \frac{f_{h.0.k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha_1)^2 + \cos(\alpha_1)^2} = \blacksquare$$

$$f_{h.2.k} := \frac{f_{h.0.k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha_2)^2 + \cos(\alpha_2)^2} = \blacksquare$$

$$f_{h.1.k} = 36.998 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$f_{h.2.k} = 36.998 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2}$$

### Puuosien välinen poikittaiskestävyyden ominaisarvo

$$\beta := \frac{f_{h.2.k}}{f_{h.1.k}} = 1$$

$$t_1 := b_1 - t_v = 41 \cdot \text{mm}$$

$$t_2 := b_2 - t_o = 31 \cdot \text{mm}$$

### Yksileikkeiset liitokset

Puikkoliitosteorian mukaiset kestävyyydet (tappivaarnoilla ei köysivaikutusta)

$$F_{v.Rk.a} := f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d_{ef} = 9102 \cdot \text{N}$$

$$F_{v.Rk.b} := f_{h.2.k} \cdot t_2 \cdot d_{ef} = 6882 \cdot \text{N}$$

$$F_{v.Rk.c} := \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d_{ef}}{1 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2\right]} + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2 - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1}\right) \right] = 3365 \cdot \text{N}$$

$$F_{v.Rk.d} := 1.05 \cdot \frac{f_{h.1.k} \cdot t_1 \cdot d_{ef}}{2 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y.Rk}}{f_{h.1.k} \cdot d_{ef} \cdot t_1^2}} - \beta \right] = 3486 \cdot \text{N}$$



$$F_{v,Rk,e} := 1.05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d_{ef}}{1 + 2 \cdot \beta} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d_{ef} \cdot t_2^2}} - \beta \right] = 2799 \cdot N$$

$$F_{v,Rk,f} := 1.15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d_{ef}} = 2654 \cdot N$$

#### Liittimen ominaiskapasiteetti

$$F_{v,Rk} := \min(F_{v,Rk,a}, F_{v,Rk,b}, F_{v,Rk,c}, F_{v,Rk,d}, F_{v,Rk,e}, F_{v,Rk,f}) = 2654 \cdot N$$

#### **Kaksileikkeiset liitokset**

$$t_1 := \min(b_1 - t_v, b_1 - t_o) = 31 \cdot mm$$

$$t_2 := b_2 = 51 \cdot mm$$

Puikkoliitosteorian mukaiset kestävyyydet (tappivaarnoilla ei köysivaikutusta)

$$F_{v,Rk,g} := f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d_{ef} = 6882 \cdot N$$

$$F_{v,Rk,h} := 0.5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d_{ef} = 5661 \cdot N$$

$$F_{v,Rk,j} := 1.05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d_{ef}}{2 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d_{ef} \cdot t_1^2}} - \beta \right] = 2799 \cdot N$$

$$F_{v,Rk,k} := 1.15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d_{ef}} = 2654 \cdot N$$

$$F_{v,Rk} := 2 \min(F_{v,Rk,g}, F_{v,Rk,h}, F_{v,Rk,j}, F_{v,Rk,k}) = 1 \cdot N$$

#### **Liittimen mitoituskestävyys**

$$k_{mod} := 0.60 \quad \gamma_M := 1.2$$

$$F_{v,Rd} := k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 1327 \cdot N$$

#### **Liitossiirtymä**

$$\rho_m := 510 \frac{kg}{m^3}$$

$$K_{ser} := \frac{\left( \rho_m \cdot \frac{m^3}{kg} \right)^{1.5} \cdot \frac{d_{ef}}{mm}}{23} \cdot \frac{N}{mm} = 3005 \cdot \frac{N}{mm}$$

**Liite D8. Tappivaarnan kapasiteetin mitoituksen tuloste****PERUSTIEDOT:**

Rakennuskohde:	Rakennuskohde
Suunnittelija:	Suunnittelija
Yritys:	Yritys
Rakenneosan tunnus:	Rakenneosan tunnus
Lisätiedot:	Lisätiedot

**RAKENNE JA KUORMITUS:**

Puuosa 1:	Kerto-S lapeliitos (51.0 mm)
Puuosa 2:	Kerto-S lapeliitos (51.0 mm)
PO1, syyn ja voiman välinen kulma:	0.0
PO2, syyn ja voiman välinen kulma:	0.0
Aikaluokka ja käyttöluokka:	Pysyvä, Käyttöluokka 1
Kmod:	0.60
Osavarmuuskerroin:	1.20

**LIITOKSEN TIEDOT:**

Tappivaarna:	M6
Nimellishalkaisija:	6.0 mm
Vaarnatapin pituus:	72 mm
Vetolujuus fu:	600.0 N/mm <sup>2</sup>
<i>Tappivaarnalle poratun reiän halkaisija pitää olla 0,95...1,00d.</i>	
t1:	41 mm
t2:	31 mm
Reunapuristuslujuus fh,k,1:	37.0 N/mm <sup>2</sup>
Reunapuristuslujuus fh,k,2:	37.0 N/mm <sup>2</sup>
Myötömomentti My,k:	12000 Nmm
Fax,Rk:	0 N/liitin
Köysivaikutustermi:	0 N/leike
Kser:	3005 N/mm

**Yksileikkeinen liitos**

Fv,Rk (a):	9102 N/leike
Fv,Rk (b):	6882 N/leike
Fv,Rk (c):	3365 N/leike
Fv,Rk (d):	3486 N/leike
Fv,Rk (e):	2799 N/leike
Fv,Rk (f):	2654 N/leike

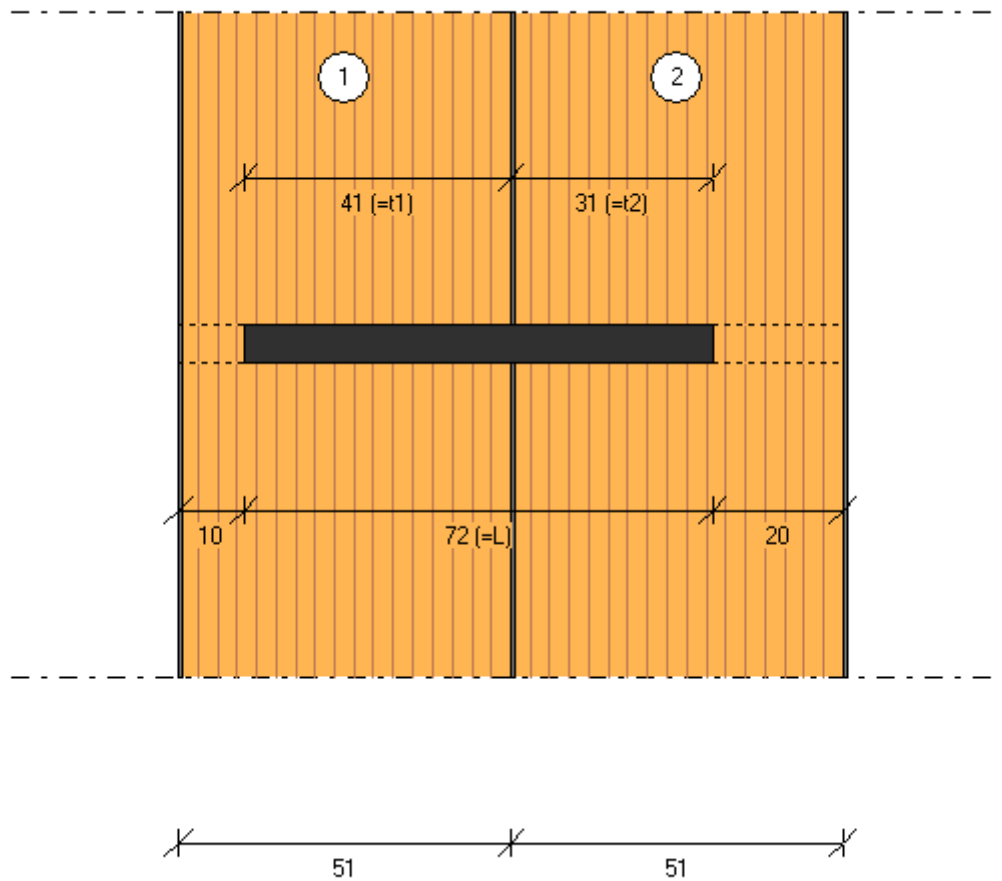
**Liittimen kapasiteetti, minimivälit ja -etäisyydet**

Fv,Rk:	2654 N/liitin
Fv,Rd:	1327 N/liitin

Puuosa 1, minimivälit ja -etäisyydet:	alfa=0.0, a1=42.0, a2=18.0, a3t=105.0, a3c=18.0, a4t=18.0, a4c=18.0
Puuosa 2, minimivälit ja -etäisyydet:	alfa=0.0, a1=42.0, a2=18.0, a3t=105.0, a3c=18.0, a4t=18.0, a4c=18.0

25.9.2014

## LEIKKAUSKUVA



## **Puuosien välisen leikkausliitoksen liitin- ja reunaetäisyyksien testaus**

### **Puuosat**

Puuosien paksuudet ja korkeudet

$$b_1 := 27\text{mm} \quad b_2 := 51\text{mm}$$

$$h_1 := 200\text{mm} \quad h_2 := 200\text{mm}$$

Puuosien välinen kulma

$$\alpha := 45\text{deg}$$

### **Kuormitus**

$$F_{v,d,x} := 5\text{kN}$$

$$F_{v,d,y} := 10\text{kN}$$

Leikkausvoiman resultantti

$$F_{v,d,tot} := \sqrt{F_{v,d,x}^2 + F_{v,d,y}^2} = 11.18 \cdot \text{kN}$$

Resultantin kulma puuosaan  
1 nähden

$$\alpha_1 := \arccos\left(\frac{F_{v,d,x}}{F_{v,d,tot}}\right) = 63.435 \cdot \text{deg}$$

Resultantin kulma  
puuosaan 2 nähden

$$\alpha_2 := \alpha_1 + \alpha = 108.435 \cdot \text{deg}$$

### **Liitin (naula)**

Halkaisija

$$d := 3.1\text{mm}$$

### **Puuosan 1 liitinetäisyydet**

Syiden suuntainen väli

$$a_1 := \begin{cases} \left[ (5 + 5 \cdot |\cos(\alpha_1)|) \cdot d \right] & \text{if } d < 5\text{mm} \\ \left[ (5 + 7 \cdot |\cos(\alpha_1)|) \cdot d \right] & \text{if } d \geq 5\text{mm} \end{cases} = 22.432 \cdot \text{mm}$$

Syitä vastaan kohtisuora väli

$$a_2 := 5d = 15.5 \cdot \text{mm}$$

Etäisyys kuormitetusta päästä

$$a_{3,t} := (10 + 5 \cdot \cos(\alpha_1)) \cdot d = 37.932 \cdot \text{mm}$$

Etäisyys kuormittamattomasta päästä

$$a_{3,c} := 10d = 31 \cdot \text{mm}$$

Etäisyys kuormitetusta reunasta

$$a_{4,t} := \begin{cases} \left[ (5 + 2 \cdot \sin(\alpha_1)) \cdot d \right] & \text{if } d < 5\text{mm} \\ \left[ (5 + 5 \cdot \sin(\alpha_1)) \cdot d \right] & \text{if } d \geq 5\text{mm} \end{cases} = 21.045 \cdot \text{mm}$$

Etäisyys kuormittamattomasta reunasta

$$a_{4,c} := 5d = 15.5 \cdot \text{mm}$$

## Puuosan 2 liitinetäisyydet

Syiden suuntainen väli

$$a_1 := \begin{cases} \lceil (5 + 5 \cdot |\cos(\alpha_2)|) \cdot d \rceil & \text{if } d < 5 \text{ mm} \\ \lceil (5 + 7 \cdot |\cos(\alpha_2)|) \cdot d \rceil & \text{if } d \geq 5 \text{ mm} \end{cases} = 20.402 \cdot \text{mm}$$

Syitä vastaan kohtisuora väli

$$a_2 := 5d = 15.5 \cdot \text{mm}$$

Etäisyys kuormitetusta päästä

$$a_{3,t} := (10 + 5 \cdot \cos(\pi - \alpha_2)) \cdot d = 35.902 \cdot \text{mm}$$

Etäisyys kuormittamattomasta päästä

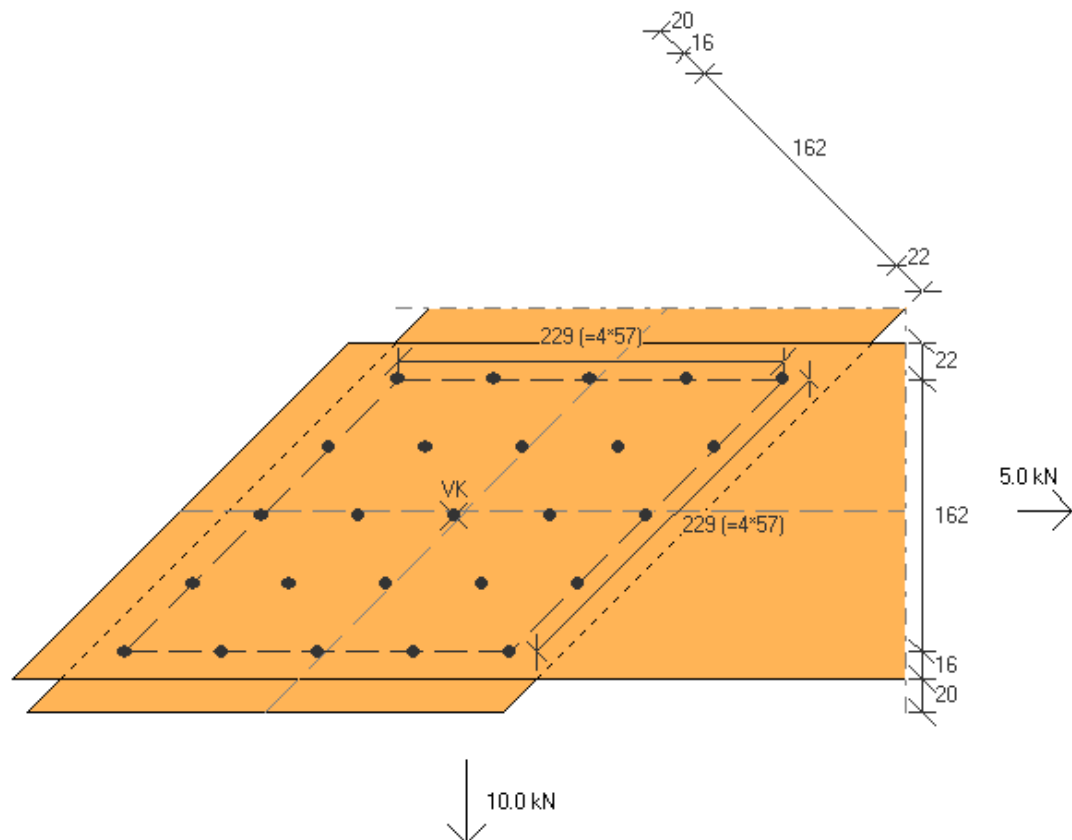
$$a_{3,c} := 10d = 31 \cdot \text{mm}$$

Etäisyys kuormitetusta reunasta

$$a_{4,t} := \begin{cases} \lceil (5 + 2 \cdot \sin(\alpha_2)) \cdot d \rceil & \text{if } d < 5 \text{ mm} \\ \lceil (5 + 5 \cdot \sin(\alpha_2)) \cdot d \rceil & \text{if } d \geq 5 \text{ mm} \end{cases} = 21.382 \cdot \text{mm}$$

Etäisyys kuormittamattomasta reunasta

$$a_{4,c} := 5d = 15.5 \cdot \text{mm}$$



## **Puuosien välisen leikkausliitoksen tarkastus**

### **Puuosat**

Paksuudet

$$b_1 := 27\text{mm} \quad b_2 := 51\text{mm}$$

Korkeudet

$$h_1 := 200\text{mm} \quad h_2 := 200\text{mm}$$

Puuosien välinen kulma

$$\alpha := 45\text{deg}$$

### **Kuormitus**

$$F_{v.d.x} := 1\text{kN}$$

$$F_{v.d.y} := 1\text{kN}$$

$$M_{d.z} := 0.5\text{kN}\cdot\text{m}$$

Leikkausvoiman resultantti

$$F_{v.d.tot} := \sqrt{F_{v.d.x}^2 + F_{v.d.y}^2} = 1.414\cdot\text{kN}$$

Resultantin kulma puuosaan 1 nähden

$$\alpha_1 := \arccos\left(\frac{F_{v.d.x}}{F_{v.d.tot}}\right) = 45\cdot\text{deg}$$

Resultantin kulma puuosaan 2 nähden

$$\alpha_2 := \alpha_1 + \alpha = 90\cdot\text{deg}$$

### **Liitin (pultti)**

Halkaisija

$$d := 8\text{mm} \quad d_{ef} := 6.65\text{mm}$$

### **Liitinsijoittelu**

$$n := 4$$

### **Liitinyhmän painopiste**

Liittimien sijainnit

$$x_1 := 55\text{mm} + \frac{55\text{mm}}{\sin(\alpha)} = 132.782\cdot\text{mm}$$

$$x_2 := x_1 + 160\text{mm} = 292.782\cdot\text{mm}$$

$$x_3 := x_1 + 117\text{mm} = 249.782\cdot\text{mm}$$

$$x_4 := x_3 + 160\text{mm} = 409.782\cdot\text{mm}$$

$$y_1 := 55\text{mm}$$

$$y_2 := y_1 = 55\cdot\text{mm}$$

$$y_3 := y_1 + 117\text{mm} = 172\cdot\text{mm}$$

$$y_4 := y_3 = 172\cdot\text{mm}$$

Painopiste

$$x_c := \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{n} = 271.282\cdot\text{mm}$$

$$y_c := \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{n} = 113.5\cdot\text{mm}$$

### Jähyysmomentti

$$\begin{aligned}x_{1,c} &:= x_1 - x_c = -138.5 \cdot \text{mm} & x_{2,c} &:= x_2 - x_c = 21.5 \cdot \text{mm} \\x_{3,c} &:= x_3 - x_c = -21.5 \cdot \text{mm} & x_{4,c} &:= x_4 - x_c = 138.5 \cdot \text{mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}y_{1,c} &:= y_1 - y_c = -58.5 \cdot \text{mm} & y_{2,c} &:= y_2 - y_c = -58.5 \cdot \text{mm} \\y_{3,c} &:= y_3 - y_c = 58.5 \cdot \text{mm} & y_{4,c} &:= y_4 - y_c = 58.5 \cdot \text{mm}\end{aligned}$$

$$I_p := x_{1,c}^2 + x_{2,c}^2 + x_{3,c}^2 + x_{4,c}^2 + y_{1,c}^2 + y_{2,c}^2 + y_{3,c}^2 + y_{4,c}^2 = 5.298 \times 10^4 \cdot \text{mm}^2$$

### Liitosmomentti

Kuormituslinjojen risteämiskohta

$$x_k := \frac{100 \text{mm}}{\tan(\alpha)} + \frac{\frac{200 \text{mm}}{\sin(\alpha)}}{2} = 241.421 \cdot \text{mm} \quad y_k := 100 \text{mm}$$

$$M_p := M_{d,z} + F_{v,d,x} \cdot (y_k - y_c) + F_{v,d,y} \cdot (x_k - x_c) = 0.457 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

### Liitinrasitukset ja liitinrasitusten kulmat (x-akselin suhteen)

$$q_{x,1} := \frac{M_p}{I_p} \cdot y_{1,c} + \frac{F_{v,d,x}}{n} = -254.236 \cdot \text{N} \quad q_{y,1} := \frac{M_p}{I_p} \cdot x_{1,c} + \frac{F_{v,d,y}}{n} = -943.79 \cdot \text{N}$$

$$q_{d,1} := \sqrt{q_{x,1}^2 + q_{y,1}^2} = 977.433 \cdot \text{N} \quad \alpha_{x,1} := \text{atan}\left(\frac{q_{y,1}}{q_{x,1}}\right) = 74.924 \cdot \text{deg}$$

$$q_{x,2} := \frac{M_p}{I_p} \cdot y_{2,c} + \frac{F_{v,d,x}}{n} = -254.236 \cdot \text{N} \quad q_{y,2} := \frac{M_p}{I_p} \cdot x_{2,c} + \frac{F_{v,d,y}}{n} = 435.318 \cdot \text{N}$$

$$q_{d,2} := \sqrt{q_{x,2}^2 + q_{y,2}^2} = 504.12 \cdot \text{N} \quad \alpha_{x,2} := \text{atan}\left(\frac{q_{y,2}}{q_{x,2}}\right) = -59.714 \cdot \text{deg}$$

$$q_{x,3} := \frac{M_p}{I_p} \cdot y_{3,c} + \frac{F_{v,d,x}}{n} = 754.236 \cdot \text{N} \quad q_{y,3} := \frac{M_p}{I_p} \cdot x_{3,c} + \frac{F_{v,d,y}}{n} = 64.682 \cdot \text{N}$$

$$q_{d,3} := \sqrt{q_{x,3}^2 + q_{y,3}^2} = 757.005 \cdot \text{N} \quad \alpha_{x,3} := \text{atan}\left(\frac{q_{y,3}}{q_{x,3}}\right) = 4.902 \cdot \text{deg}$$

$$q_{x,4} := \frac{M_p}{I_p} \cdot y_{4,c} + \frac{F_{v,d,x}}{n} = 754.236 \cdot \text{N} \quad q_{y,4} := \frac{M_p}{I_p} \cdot x_{4,c} + \frac{F_{v,d,y}}{n} = 1443.79 \cdot \text{N}$$

$$q_{d,4} := \sqrt{q_{x,4}^2 + q_{y,4}^2} = 1628.926 \cdot \text{N} \quad \alpha_{x,4} := \text{atan}\left(\frac{q_{y,4}}{q_{x,4}}\right) = 62.417 \cdot \text{deg}$$

$$q_d := \max(q_{d,1}, q_{d,2}, q_{d,3}, q_{d,4}) = 1628.926 \cdot \text{N}$$

## Reunapuristuslujuuksien korjaus

Tiheys ja tehollinen halkaisija

$$\rho_k := 480 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad d_{\text{ef}} = 6.65 \cdot \text{mm}$$

$$k_{90} := 1.3 + 0.015 \cdot \frac{d_{\text{ef}}}{\text{mm}} = 1.4 \quad (\text{LVL})$$

Syysuuntainen reunapuristuslujuus

$$f_{h.0.k} := 0.082 \cdot \left( 1 - 0.01 \cdot \frac{d_{\text{ef}}}{\text{mm}} \right) \cdot \rho_k \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 36.743 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Puososan 1 reunapuristuslujuudet

$$f_{h.k.1.1} := \frac{f_{h.0.k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha_{x.1})^2 + \cos(\alpha_{x.1})^2} = 26.767 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{h.k.2.1} := \frac{f_{h.0.k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha_{x.2})^2 + \cos(\alpha_{x.2})^2} = 28.305 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{h.k.3.1} := \frac{f_{h.0.k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha_{x.3})^2 + \cos(\alpha_{x.3})^2} = 36.636 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{h.k.4.1} := \frac{f_{h.0.k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha_{x.4})^2 + \cos(\alpha_{x.4})^2} = 27.961 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Puososan 2 reunapuristuslujuudet

Reunapuristuslujuuksien suhteet

$$f_{h.k.1.2} := \frac{f_{h.0.k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha_{x.1} + \alpha)^2 + \cos(\alpha_{x.1} + \alpha)^2} = 28.258 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\beta_1 := \frac{f_{h.k.1.2}}{f_{h.k.1.1}} = 1.056$$

$$f_{h.k.2.2} := \frac{f_{h.0.k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha_{x.2} + \alpha)^2 + \cos(\alpha_{x.2} + \alpha)^2} = 35.819 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\beta_2 := \frac{f_{h.k.2.2}}{f_{h.k.2.1}} = 1.265$$

$$f_{h.k.3.2} := \frac{f_{h.0.k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha_{x.3} + \alpha)^2 + \cos(\alpha_{x.3} + \alpha)^2} = 29.777 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\beta_3 := \frac{f_{h.k.3.2}}{f_{h.k.3.1}} = 0.813$$

$$f_{h.k.4.2} := \frac{f_{h.0.k}}{k_{90} \cdot \sin(\alpha_{x.4} + \alpha)^2 + \cos(\alpha_{x.4} + \alpha)^2} = 26.939 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\beta_4 := \frac{f_{h.k.4.2}}{f_{h.k.4.1}} = 0.963$$



## Kaksileikkeisten liittimien kestävyys

Myötömomentti ja aksiaalinen kestävyys

$$M_{y,Rk} := 24809 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad F_{ax,Rk} := 3473.5 \text{ N}$$

Puuosien leveydet tai tunkeumat

$$t_1 := b_1 = 27 \cdot \text{mm} \quad t_2 := b_2 = 51 \cdot \text{mm}$$

Kaikki murtotavat lasketaan erikseen jokaiselle liittimelle

$$F_{v,Rk,g,1} := f_{h,k,1,1} \cdot t_1 \cdot d_{ef} = 4805.932 \cdot \text{N}$$

$$F_{v,Rk,g,2} := f_{h,k,2,1} \cdot t_1 \cdot d_{ef} = 5082.22 \cdot \text{N}$$

$$F_{v,Rk,g,3} := f_{h,k,3,1} \cdot t_1 \cdot d_{ef} = 6577.929 \cdot \text{N}$$

$$F_{v,Rk,g,4} := f_{h,k,4,1} \cdot t_1 \cdot d_{ef} = 5020.468 \cdot \text{N}$$

$$F_{v,Rk,h,1} := 0.5 \cdot f_{h,k,1,2} \cdot t_2 \cdot d_{ef} = 4791.776 \cdot \text{N}$$

$$F_{v,Rk,h,2} := 0.5 \cdot f_{h,k,2,2} \cdot t_2 \cdot d_{ef} = 6073.977 \cdot \text{N}$$

$$F_{v,Rk,h,3} := 0.5 \cdot f_{h,k,3,2} \cdot t_2 \cdot d_{ef} = 5049.506 \cdot \text{N}$$

$$F_{v,Rk,h,4} := 0.5 \cdot f_{h,k,4,2} \cdot t_2 \cdot d_{ef} = 4568.128 \cdot \text{N}$$

Puikkoliitosteorian mukaiset kestävyysmurtotavoissa  $j$  ja  $k$ .

$$F_{v,Rk,j,puikko,1} := 1.05 \cdot \frac{f_{h,k,1,1} \cdot t_1 \cdot d_{ef}}{2 + \beta_1} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta_1 \cdot (1 + \beta_1) + \frac{4 \cdot \beta_1 \cdot (2 + \beta_1) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k,1,1} \cdot d_{ef} \cdot t_1^2}} - \beta_1 \right] = 2565.329 \cdot \text{N}$$

$$F_{v,Rk,j,puikko,2} := 1.05 \cdot \frac{f_{h,k,2,1} \cdot t_1 \cdot d_{ef}}{2 + \beta_2} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta_2 \cdot (1 + \beta_2) + \frac{4 \cdot \beta_2 \cdot (2 + \beta_2) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k,2,1} \cdot d_{ef} \cdot t_1^2}} - \beta_2 \right] = 2758.263 \cdot \text{N}$$

$$F_{v,Rk,j,puikko,3} := 1.05 \cdot \frac{f_{h,k,3,1} \cdot t_1 \cdot d_{ef}}{2 + \beta_3} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta_3 \cdot (1 + \beta_3) + \frac{4 \cdot \beta_3 \cdot (2 + \beta_3) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k,3,1} \cdot d_{ef} \cdot t_1^2}} - \beta_3 \right] = 3050.995 \cdot \text{N}$$

$$F_{v,Rk,j,puikko,4} := 1.05 \cdot \frac{f_{h,k,4,1} \cdot t_1 \cdot d_{ef}}{2 + \beta_4} \cdot \left[ \sqrt{2 \cdot \beta_4 \cdot (1 + \beta_4) + \frac{4 \cdot \beta_4 \cdot (2 + \beta_4) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k,4,1} \cdot d_{ef} \cdot t_1^2}} - \beta_4 \right] = 2597.256 \cdot \text{N}$$

$$F_{v,Rk,k,puikko,1} := 1.15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta_1}{1 + \beta_1}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k,1,1} \cdot d_{ef}} = 3463.62 \cdot \text{N}$$

$$F_{v,Rk,k,puikko,2} := 1.15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta_2}{1 + \beta_2}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k,2,1} \cdot d_{ef}} = 3714.687 \cdot \text{N}$$

$$F_{v,Rk,k,puikko,3} := 1.15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta_3}{1 + \beta_3}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k,3,1} \cdot d_{ef}} = 3786.273 \cdot \text{N}$$

$$F_{v,Rk,k,puikko,4} := 1.15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta_4}{1 + \beta_4}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k,4,1} \cdot d_{ef}} = 3460.385 \cdot \text{N}$$

Köysivaikutustermi

$$Köysi_1 := \min\left(\frac{F_{ax.Rk}}{4}, 0.25 \cdot F_{v.Rk.j.puikko.1}, 0.25 \cdot F_{v.Rk.k.puikko.1}\right) = 641.332 \cdot N$$

$$Köysi_2 := \min\left(\frac{F_{ax.Rk}}{4}, 0.25 \cdot F_{v.Rk.j.puikko.2}, 0.25 \cdot F_{v.Rk.k.puikko.2}\right) = 689.566 \cdot N$$

$$Köysi_3 := \min\left(\frac{F_{ax.Rk}}{4}, 0.25 \cdot F_{v.Rk.j.puikko.3}, 0.25 \cdot F_{v.Rk.k.puikko.3}\right) = 762.749 \cdot N$$

$$Köysi_4 := \min\left(\frac{F_{ax.Rk}}{4}, 0.25 \cdot F_{v.Rk.j.puikko.4}, 0.25 \cdot F_{v.Rk.k.puikko.4}\right) = 649.314 \cdot N$$

$$F_{v.Rk.j.1} := F_{v.Rk.j.puikko.1} + Köysi_1 = 3206.661 \cdot N$$

$$F_{v.Rk.j.2} := F_{v.Rk.j.puikko.2} + Köysi_2 = 3447.829 \cdot N$$

$$F_{v.Rk.j.3} := F_{v.Rk.j.puikko.3} + Köysi_3 = 3813.743 \cdot N$$

$$F_{v.Rk.j.4} := F_{v.Rk.j.puikko.4} + Köysi_4 = 3246.57 \cdot N$$

$$F_{v.Rk.k.1} := F_{v.Rk.k.puikko.1} + Köysi_1 = 4104.953 \cdot N$$

$$F_{v.Rk.k.2} := F_{v.Rk.k.puikko.2} + Köysi_2 = 4404.252 \cdot N$$

$$F_{v.Rk.k.3} := F_{v.Rk.k.puikko.3} + Köysi_3 = 4549.022 \cdot N$$

$$F_{v.Rk.k.4} := F_{v.Rk.k.puikko.4} + Köysi_4 = 4109.699 \cdot N$$

$$F_{v.Rk.1} := 2 \min(F_{v.Rk.g.1}, F_{v.Rk.h.1}, F_{v.Rk.j.1}, F_{v.Rk.k.1}) = 6413.322 \cdot N$$

$$F_{v.Rk.2} := 2 \min(F_{v.Rk.g.2}, F_{v.Rk.h.2}, F_{v.Rk.j.2}, F_{v.Rk.k.2}) = 6895.658 \cdot N$$

$$F_{v.Rk.3} := 2 \min(F_{v.Rk.g.3}, F_{v.Rk.h.3}, F_{v.Rk.j.3}, F_{v.Rk.k.3}) = 7627.486 \cdot N$$

$$F_{v.Rk.4} := 2 \min(F_{v.Rk.g.4}, F_{v.Rk.h.4}, F_{v.Rk.j.4}, F_{v.Rk.k.4}) = 6493.141 \cdot N$$

## Kestävyyden mitoitusarvot

$$k_{mod} := 0.8 \quad \gamma_M := 1.2$$

Kestävyyden mitoitusarvot

Liitinrasitus

Käyttöaste

$$F_{v.Rd.1} := k_{mod} \cdot \frac{F_{v.Rk.1}}{\gamma_M} = 4275.548 \cdot N$$

$$q_{d.1} = 977.433 \cdot N$$

$$\frac{q_{d.1}}{F_{v.Rd.1}} = 0.229$$

$$F_{v.Rd.2} := k_{mod} \cdot \frac{F_{v.Rk.2}}{\gamma_M} = 4597.105 \cdot N$$

$$q_{d.2} = 504.12 \cdot N$$

$$\frac{q_{d.2}}{F_{v.Rd.2}} = 0.11$$

$$F_{v.Rd.3} := k_{mod} \cdot \frac{F_{v.Rk.3}}{\gamma_M} = 5084.991 \cdot N$$

$$q_{d.3} = 757.005 \cdot N$$

$$\frac{q_{d.3}}{F_{v.Rd.3}} = 0.149$$

$$F_{v.Rd.4} := k_{mod} \cdot \frac{F_{v.Rk.4}}{\gamma_M} = 4328.761 \cdot N$$

$$q_{d.4} = 1628.926 \cdot N$$

$$\frac{q_{d.4}}{F_{v.Rd.4}} = 0.376$$

## Halkeamismurtokestävyys

### Puuosa 1

Kauimmaisen liittimen etäisyys kuormitetusta reunasta

$$h_{e,1} := 23\text{mm} + 122\text{mm} = 145\cdot\text{mm}$$

Halkeamiskestävyyden ominais- ja mitoitusarvot

$$F_{90.Rk.1} := 2 \cdot 14 \cdot \frac{b_1}{\text{mm}} \cdot \sqrt{\frac{\frac{h_{e,1}}{\text{mm}}}{\left(1 - \frac{h_{e,1}}{h_1}\right)}} \cdot N = 17.36 \cdot \text{kN}$$

$$F_{90.Rd.1} := k_{\text{mod}} \cdot \frac{F_{90.Rk.1}}{\gamma_M} = 11.573 \cdot \text{kN}$$

Syysuuntaa vastaan kohtisuora kuormakomponentti

$$F_{v.Ed.1} := \sin(\alpha_1) \cdot F_{v.d.tot} = 1 \cdot \text{kN}$$

Käyttöaste

$$\frac{F_{v.Ed.1}}{F_{90.Rd.1}} = 0.086$$

### Puuosa 2

Kauimmaisen liittimen etäisyys kuormitetusta reunasta

$$h_{e,2} := 27\text{mm} + 118\text{mm} = 145\cdot\text{mm}$$

Halkeamiskestävyyden ominais- ja mitoitusarvot

$$F_{90.Rk.2} := 14 \cdot \frac{b_2}{\text{mm}} \cdot \sqrt{\frac{\frac{h_{e,2}}{\text{mm}}}{\left(1 - \frac{h_{e,2}}{h_2}\right)}} \cdot N = 16.395 \cdot \text{kN}$$

$$F_{90.Rd.2} := k_{\text{mod}} \cdot \frac{F_{90.Rk.2}}{\gamma_M} = 10.93 \cdot \text{kN}$$

Syysuuntaa vastaan kohtisuora kuormakomponentti

$$F_{v.Ed.2} := \sin(\alpha_2) \cdot F_{v.d.tot} = 1.414 \cdot \text{kN}$$

Käyttöaste

$$\frac{F_{v.Ed.2}}{F_{90.Rd.2}} = 0.129$$

## Lohkeamismurtokestävyys (VTT-Sertifikaatti Nro VTT-C-184-03)

$$n = 4 \quad n_1 := 2 \quad n_2 := 2 \quad d := d + 1 \text{ mm} = 9 \text{ mm} \quad (\text{maksimireiän mukaan})$$

$$f_y := 240 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{t,0,k} := 35 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{v,k} := 4.1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{t,90,k} := 0.8 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

### Reunapuiden sisäosien puustamurtokestävyys

Liitintäisyydet ja välit

$$a_1 := 160 \text{ mm} \quad a_2 := 117 \text{ mm} \quad a_3 := \frac{(20 + 55) \text{ mm}}{\sin(\alpha)} = 106.066 \cdot \text{mm} \quad a_4 := 28 \text{ mm}$$

$$A_{h,ip} := (n - n_1) \cdot d_{ef} \cdot t_1 = 359.1 \cdot \text{mm}^2$$

Reunapuille

$$t_{ef,1} := \min \left( t_1, 0.68 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{f_y}{f_{h,0,k}}} \right) = 15.641 \cdot \text{mm}$$

$$A_{t,ip} := (n_2 - 1) \cdot (a_2 - d) \cdot t_1 = 2.916 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{v,ip} := 2 \cdot (n_2 - 1) \cdot [(n_1 - 1) \cdot a_1 + a_3] \cdot t_{ef,1} = 8.323 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$F_{t,k} := 1.7 \cdot n_1^{-0.1} \cdot A_{t,ip} \cdot f_{t,0,k} = 1.619 \times 10^5 \text{ N}$$

$$k_v := 0.7 \quad (\text{Kerto-S})$$

$$F_{v,k} := k_v \cdot n_1^{-0.1} \cdot A_{v,ip} \cdot f_{v,k} = 2.229 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F_{tv,k} := \begin{cases} F_{t,k} \cdot \left( 1 - 0.3 \cdot \frac{F_{t,k}}{F_{v,k}} \right) & \text{if } F_{t,k} \leq F_{v,k} \\ F_{v,k} \cdot \left( 1 - 0.3 \cdot \frac{F_{v,k}}{F_{t,k}} \right) & \text{if } F_{v,k} < F_{t,k} \end{cases} = 21.367 \cdot \text{kN}$$

$$F_{cv,k} := F_{v,k} + (n_2 - 1) \cdot d \cdot t_{ef,1} \cdot f_{h,0,k} = 2.746 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F_{ip,Rk} := \min(A_{h,ip} \cdot f_{h,0,k}, F_{tv,k}) = 1.319 \times 10^4 \text{ N} \quad (\text{vedetyt liitokset})$$

### Reunapuiden reunaosien puustamurtokestävyys

$$A_{h,ep} := n_1 \cdot d_{ef} \cdot t_1 = 359.1 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t,ep} := (2 \cdot a_4 - d) \cdot t_1 = 1.269 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{v,ep} := 2 \cdot [(n_1 - 1) \cdot a_1 + a_3] \cdot t_{ef,1} = 8.323 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$k_{t,ep} := \frac{1}{1 + \frac{A_{t,ep}}{A_{v,ep}}} = 0.868$$

$$s_{\text{hole}} := \max\left(1, 0.65 \cdot \frac{a_3}{a_4}\right) = 2.462 \quad s_{\text{end}} := \frac{2.7}{\cosh\left(\frac{a_3}{a_4} - 1.4\right)} = 0.492$$

$$F_{s.k} := \frac{14 \cdot n_1^{0.9}}{s_{\text{hole}}} \cdot t_{\text{ef.1}} \cdot (a_3 - 0.5 \cdot d) \cdot f_{t.90.k} = 1.348 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F_{se.k} := \frac{14 \cdot n_1^{0.9}}{s_{\text{end}}} \cdot t_{\text{ef.1}} \cdot (a_3 - 0.5 \cdot d) \cdot f_{t.90.k} = 67.537 \cdot \text{kN}$$

$$k_v := 0.7 \quad (\text{Kerto-S})$$

$$F_{v.k} := k_v \cdot n_1^{-0.1} \cdot A_{v.ep} \cdot f_{v.k} = 2.229 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F_{t.k} := 1.7 \cdot n_1^{-0.1} \cdot k_{t.ep} \cdot A_{t.ep} \cdot f_{t.0.k} = 6.113 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F_{tv.k} := \begin{cases} F_{t.k} \cdot \left(1 - 0.3 \cdot \frac{F_{t.k}}{F_{v.k}}\right) & \text{if } F_{t.k} \leq F_{v.k} \\ F_{v.k} \cdot \left(1 - 0.3 \cdot \frac{F_{v.k}}{F_{t.k}}\right) & \text{if } F_{v.k} < F_{t.k} \end{cases} = 19.85 \cdot \text{kN}$$

$$F_{sv.k} := \begin{cases} F_{s.k} \cdot \left(1 - 0.3 \cdot \frac{F_{s.k}}{F_{v.k}}\right) & \text{if } F_{s.k} \leq F_{v.k} \\ F_{v.k} \cdot \left(1 - 0.3 \cdot \frac{F_{v.k}}{F_{s.k}}\right) & \text{if } F_{v.k} < F_{s.k} \end{cases} = 11.037 \cdot \text{kN}$$

$$F_{ep.Rk} := \min(A_{h.ep} \cdot f_{h.0.k}, F_{tv.k}, F_{sv.k}, F_{se.k}) = 11.037 \cdot \text{kN} \quad (\text{vedetyt liitokset})$$

### Reunapuiden puustamurtokestävyys

$$F_{1.0.Rk} := 2(F_{ip.Rk} + F_{ep.Rk}) = 48.463 \cdot \text{kN}$$

$$F_{1.0.Rd} := k_{\text{mod}} \cdot \frac{F_{1.0.Rk}}{\gamma_M} = 32.308 \cdot \text{kN}$$

$$F_{t.Ed.1} := F_{v.d.tot} \cdot \cos(\alpha_1) = 1000 \text{ N}$$

### Käyttöaste

$$\frac{F_{t.Ed.1}}{F_{1.0.Rd}} = 0.031$$

### Keskipuun sisäosien puustamurtokestävyys

$$a_1 := 165 \text{ mm} \quad a_2 := 113 \text{ mm} \quad a_3 := \frac{(20 + 55) \text{ mm}}{\sin(\alpha)} = 106.066 \cdot \text{mm} \quad a_4 := 32 \text{ mm}$$

$$A_{h.ip} := (n - n_1) \cdot d_{ef} \cdot t_2 = 678.3 \cdot \text{mm}^2$$

Keskipuulle

$$t_{ef.2} := \min \left( t_2, 1.63 \cdot d \cdot \sqrt{\frac{f_y}{f_{h.0.k}}} \right) = 37.493 \cdot \text{mm}$$

$$A_{t.ip} := (n_2 - 1) \cdot (a_2 - d) \cdot t_2 = 5.304 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{v.ip} := 2 \cdot (n_2 - 1) \cdot [(n_1 - 1) \cdot a_1 + a_3] \cdot t_{ef.2} = 2.033 \times 10^4 \cdot \text{mm}^2$$

$$F_{t.k} := 1.7 \cdot n_1^{-0.1} \cdot A_{t.ip} \cdot f_{t.0.k} = 2.945 \times 10^5 \text{ N}$$

$$k_v := 0.7 \quad (\text{Kerto-S})$$

$$F_{v.k} := k_v \cdot n_1^{-0.1} \cdot A_{v.ip} \cdot f_{v.k} = 5.443 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F_{tv.k} := \begin{cases} F_{t.k} \cdot \left( 1 - 0.3 \cdot \frac{F_{t.k}}{F_{v.k}} \right) & \text{if } F_{t.k} \leq F_{v.k} \\ F_{v.k} \cdot \left( 1 - 0.3 \cdot \frac{F_{v.k}}{F_{t.k}} \right) & \text{if } F_{v.k} < F_{t.k} \end{cases} = 5.141 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F_{cv.k} := F_{v.k} + (n_2 - 1) \cdot d \cdot t_{ef.2} \cdot f_{h.0.k} = 6.683 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F_{ip.Rk} := \min(A_{h.ip} \cdot f_{h.0.k}, F_{tv.k}) = 2.492 \times 10^4 \text{ N} \quad (\text{vedetyt liitokset})$$

### Keskipuun reunaosien puustamurtokestävyys

$$A_{h.ep} := n_1 \cdot d_{ef} \cdot t_2 = 678.3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{t.ep} := (2 \cdot a_4 - d) \cdot t_2 = 2.805 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{v.ep} := 2 \cdot [(n_1 - 1) \cdot a_1 + a_3] \cdot t_{ef.2} = 2.033 \times 10^4 \cdot \text{mm}^2$$

$$k_{t.ep} := \frac{1}{1 + \frac{A_{t.ep}}{A_{v.ep}}} = 0.879$$

$$s_{hole} := \max \left( 1, 0.65 \cdot \frac{a_3}{a_4} \right) = 2.154$$

$$s_{end} := \frac{2.7}{\cosh \left( \frac{a_3}{a_4} - 1.4 \right)} = 0.779$$

$$F_{s.k} := \frac{14 \cdot n_1^{0.9}}{s_{hole}} \cdot t_{ef.2} \cdot (a_3 - 0.5 \cdot d) \cdot f_{t.90.k} = 3.694 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F_{se.k} := \frac{14 \cdot n_1^{0.9}}{s_{end}} \cdot t_{ef.2} \cdot (a_3 - 0.5 \cdot d) \cdot f_{t.90.k} = 1.022 \times 10^5 \text{ N}$$

$$k_v := 0.7 \quad (\text{Kerto-S})$$

$$F_{v.k} := k_v \cdot n_1^{-0.1} \cdot A_{v.ep} \cdot f_{v.k} = 5.443 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F_{t.k} := 1.7 \cdot n_1^{-0.1} \cdot k_{t.ep} \cdot A_{t.ep} \cdot f_{t.0.k} = 1.368 \times 10^5 \text{ N}$$

$$F_{tv.k} := \begin{cases} F_{t.k} \cdot \left(1 - 0.3 \cdot \frac{F_{t.k}}{F_{v.k}}\right) & \text{if } F_{t.k} \leq F_{v.k} \\ F_{v.k} \cdot \left(1 - 0.3 \cdot \frac{F_{v.k}}{F_{t.k}}\right) & \text{if } F_{v.k} < F_{t.k} \end{cases} = 4.793 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F_{sv.k} := \begin{cases} F_{s.k} \cdot \left(1 - 0.3 \cdot \frac{F_{s.k}}{F_{v.k}}\right) & \text{if } F_{s.k} \leq F_{v.k} \\ F_{v.k} \cdot \left(1 - 0.3 \cdot \frac{F_{v.k}}{F_{s.k}}\right) & \text{if } F_{v.k} < F_{s.k} \end{cases} = 2.942 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F_{ep.Rk} := \min(A_{h.ep} \cdot f_{h.0.k}, F_{tv.k}, F_{sv.k}, F_{se.k}) = 2.492 \times 10^4 \text{ N} \quad (\text{vedetyt liitokset})$$

### Keskipuun puustamurtokestävyys

$$F_{2.0.Rk} := F_{ip.Rk} + F_{ep.Rk} = 49.845 \cdot \text{kN}$$

$$F_{2.0.Rd} := k_{mod} \cdot \frac{F_{2.0.Rk}}{\gamma_M} = 33.23 \cdot \text{kN}$$

$$F_{t.Ed.2} := F_{v.d.tot} \cdot \cos(\alpha_2) = 0 \text{ N}$$

### Käyttöaste

$$\frac{F_{t.Ed.2}}{F_{2.0.Rd}} = 0$$

## Hetkelliset liitossiirtymät

Käyttörajan kuormat

$$F_{x.KRT} := 1.0 \text{ kN} \quad F_{y.KRT} := 1.0 \text{ kN}$$

Siirtymäkerroin

$$K_{ser} := 3330 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

Leikkeiden lukumäärä

$$k := 2$$

X-suunnassa

$$u_{inst.x} := \frac{F_{x.KRT}}{k \cdot n \cdot K_{ser}} = 0.038 \cdot \text{mm}$$

Y-suunnassa

$$u_{inst.y} := \frac{F_{y.KRT}}{k \cdot n \cdot K_{ser}} = 0.038 \cdot \text{mm}$$

## Liitoksen hetkellinen kietymä

Hetkellinen kiertymäjäykkyys

$$K_{r.ser} := K_{ser} \cdot I_p = 176.417 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Hetkellinen kiertymä

$$\varphi_{inst} := \frac{M_p}{k \cdot K_{r.ser}} = 0.074 \cdot \text{deg}$$



**Liite D11. Puuosien välisen leikkausliitoksen tuloste****PERUSTIEDOT**

Rakennuskohde:	Rakennuskohde
Suunnittelija:	Suunnittelija
Yritys:	Yritys
Rakenneosan tunnus:	Rakenneosan tunnus
Lisätiedot:	Lisätiedot

**LIITOSOSAT**

Materiaali:	Puuosa 1:	Puuosa 2:
Paksuus:	Kerto-S (lapeliitos mol. puolin)	Kerto-S (lapeliitos)
Korkeus:	27 mm	51 mm
Aikaluokka ja käyttöluokka:	200 mm	200 mm
Kmod:	Keskipitkä, Käyttöluokka 1	
Osavarmuuskertoimen:	0.80	
	1.20	

**LIITINSIJOITTELU**

Sisäinen liitosmomentti:	0.46 kNm		
	Kapasiteetti:	Rasitus:	Käyttöaste:
Vähiten rasitettu liitin:	4599 N	504 N	11.0 %
Rasitetuin liitin:	4329 N	1630 N	37.7 %
Pienin liitinkapasiteetti:	4276 N	978 N	22.9 %
<b>Määrävin liitin:</b>	<b>4329 N</b>	<b>1630 N</b>	<b>37.7 %</b>

**HALKEAMISKESTÄVYYS**

	Puuosa 1:	Puuosa 2:
Halkeamiskestävyys:	11.57 kN	10.93 kN
Leikkausvoiman mitoitusarvo:	1.00 kN	1.41 kN
Käyttöaste:	8.6 %	12.9 %

**LOHKEAMISKESTÄVYYS**

	Puuosa 1:	Puuosa 2:
Lohkeamiskestävyys:	32.31 kN	33.23 kN
Syysuuntainen voimakomp.:	1.00 kN	0.00 kN
Käyttöaste:	3.1 %	0.0 %

**SUURIN KÄYTTÖASTE****37.7** OK**HETKELLISET SIIRTYMÄT**

Vaakasuunnan (X) siirtymä:	0.04 mm
Pystysuunnan (Y) siirtymä:	0.04 mm
Kiertymä:	0.1 astetta (Krsr = 176212 Nm/rad)

**LIITIN**

Pultti:	M8
Aluslaatan muoto:	Pyöreä
Lujuusluokka:	4.6
Nimellishalkaisija:	8.0 mm
Kierreosan sisähalkaisija:	6.650 mm
Poikkipinta-ala:	36.6 mm <sup>2</sup>
Koko pituus:	125 mm
Kierteisen osan pituus:	50.000 mm
Aluslaatan paksuus:	4.0 mm
Aluslaatan halkaisija/leveys:	30.0 mm
Vetolujuus fu:	600.0 N/mm <sup>2</sup>

t1: 27 mm

t2: 51 mm

*Puuhun poratun pulttireiän halkaisija saa olla maksimissaan 1 mm suurempi kuin pultin halkaisija.*

Reunapuristuslujuus fh,k,1:	36.7 N/mm <sup>2</sup>
Reunapuristuslujuus fh,k,2:	36.7 N/mm <sup>2</sup>
Myötömomentti My,k:	24809 Nmm
Pultin vetokestävyys:	19764 N
Aluslaatan leimapainekestävyys:	3474 N
Fax,Rk:	3473.50 N/liitin
Köysivaikutustermi:	797.45 N/leike
Kser:	3330 N/mm

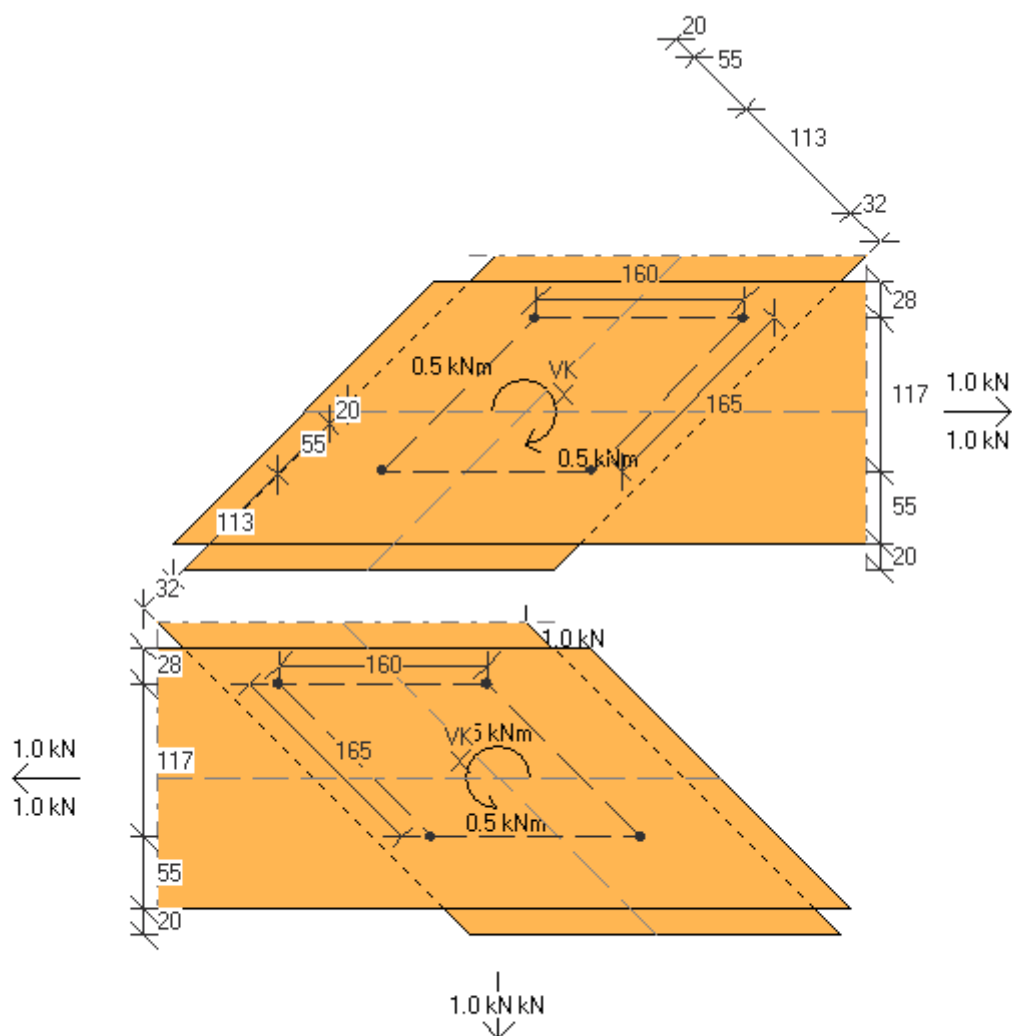
**Kaksileikkeinen liitos**

Fv,Rk (g):	6597 N/leike
Fv,Rk (h):	6231 N/leike
Fv,Rk (j):	3987 N/leike
Fv,Rk (k):	4802 N/leike

Fv,Rk:	7974 N/liitin
Fv,Rd:	5316 N/liitin

25.9.2014

## LIITTIMIEN SIJOITTELUKUVA



25.9.2014

## RAKENTEEN LEIKKAUSKUVA

